

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Virtuální návrh a testování laboratorního systému s  
využitím konceptu digitálního dvojčete**

**Virtual Design and Testing Based on Digital Twin  
Approach**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Duřa**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Virtuální návrh a testování laboratorního systému s využitím konceptu digitálního dvojčete**  
**Virtual Design and Testing Based on Digital Twin Approach**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza softwarových nástrojů pro tvorbu digitálního dvojčete.
2. Definování vhodného laboratorního systému pro demonstraci tvorby digitálního dvojčete.
3. Realizace konstrukčního návrhu vybraného systému.
4. Realizace virtuálního návrhu vybraného systému s cílem možnosti simulace funkčních procesů systému.
5. Provedení testů systému pomocí digitálního dvojčete.
6. Zhodnocení výsledků řešení.

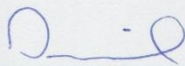
Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GREENGARD, Samuel. *The internet of Things*. Massachusetts: MIT Press, 2015. ISBN 978-0-262-52773-6.  
[2] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 5th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2013, 284 p. ISBN 978-3895783876.  
[3] Technická dokumentace k systému Simatic.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018  
Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Virtuální návrh a testování laboratorního systému s využitím konceptu digitálního dvojčete vypracoval samostatně. Pod vedením vedoucího bakalářské práce jsem uvedl všechny literární parametry a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s jejím vytvořením jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nedovoleným způsobem nezasáhl do cizích autorských práv, a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI, díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Ostravě dne: 29.4.2019



### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D., za metodické a pedagogické vedení i za odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Radimovi Krautovi, Ph.D., za jeho rady a odborný dohled při návrhu praktické části bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a povzbuzovala.

## **Abstrakt**

Táto bakalárská práca sa zaoberá návrhom digitálneho modelu v softvare Tecnomatix Process Simulate. Práca sa zaoberá vytvorením simulácie pro výrobní pracoviště, které má za úkol vyrábět produkt z lego kostek, konkrétně boudu. Celá simulace se skládá z jednoho stacionárního robotického ramene, ze systému zásobníkového a dopravníkového. V bakalářské práci je popis konstrukčního návrhu celého výrobního systému, také je uveden popisem robotických operací, generování toku materiálu, řízení dopravníkového systému, práce se senzory. Poslední část je věnována testování kinematiky robotického pracoviště.

## **Klíčová slova**

Tecnomatix Process Simulate, digitální dvojče, stacionární robot, dopravníkový systém, generování materiálu, snímače, manuální operace.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the design of digital model in Tecnomatix Process Simulate software. The work deals with the creation of a simulation for a production site, which is designed to produce a product from lego bricks, specifically a shed. The whole simulation is composed of one stationary robotic arm, a storage and conveyor system. The bachelor thesis describes the design of the whole production system, there is also a description of individual robotic operations, material flow, monitoring and control conveyor systems, working with sensors. The last part is devoted for testing the kinematics of the robotic workplace.

## **Key words**

Tecnomatix Process Simulate, digital twin, stationary robot, conveyor system, material generation, sensors, human operations.

## Obsah

1	Úvod.....	12
2	Model digitální továrny.....	14
2.1	Model digitální továrny pro vývoj výrobních zařízení.....	14
2.2	Model digitální továrny pro sběr dat.....	14
2.3	Model digitální továrny z pohledu plánování toku materiálu .....	15
3	Analýza softwarových nástrojů pro návrh digitálního dvojčete.....	16
3.1	VISUAL COMPONENTS (VC).....	16
3.2	CIROS Studio.....	18
3.2.1	Výukové možnosti platformy CIROS Studio.....	19
3.3	Tecnomatix Process Simulate (TPS).....	20
3.4	Závěr analýzy možných softwarových nástrojů pro vývoj digitálního dvojčete.....	22
4	Definování laboratorní úlohy pro demonstraci digitálního dvojčete.....	23
5	Realizace konstrukčních komponent pro demonstrační úlohu.....	24
5.1	Produkt z kostek.....	24
5.2	Komponenty pro stavbu produktu z kostek.....	25
5.2.1	Trávník - zelená základna pro stavbu boudy pro psa .....	26
5.2.2	Střecha - blok z lego kostek na stavbu boudy pro psa.....	27
5.2.3	Zadní zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa.....	27
5.2.4	Levá zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa .....	28
5.2.5	Pravá zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa .....	28
5.3	Podstava pro robota.....	29
5.4	Stůl pro materiál na stavbu boudy pro psa .....	30
5.5	Strojní základna pro stavbu dopravníkové struktury.....	30
5.6	Dopravníková struktura.....	32
5.7	Strojní model bezpečnostní zábrany.....	32
5.8	Strojní model chapadel s kleštinami.....	32
5.8.1	Parametry zařízení.....	34
5.8.2	Princip fungování .....	34
5.8.3	Popis strojního modelu kleštin .....	36
5.9	Strojní model stacionárního robota EPSON ProSic C4L-A901S.....	37
6	Realizace virtuálního návrhu a simulace v prostředí TPS.....	39
6.1	Dopravníkový systém.....	40
6.2	Soustava čidel pro řízení dopravníkového systému v simulaci.....	43

6.2.1	Návrh a vytvoření senzoru detekce .....	44
6.3	Operace pro generování materiálu .....	45
6.3.1	Větvení operace.....	46
6.3.2	Tok materiálu .....	47
6.4	Kinematika robota a uchopovacího nástroje .....	47
6.5	Robotické operace Pick and Place.....	49
6.5.1	Větvení toku robotických operací .....	50
6.6	Seznam signálů použitých v simulaci .....	50
6.6.1	Signály pro dopravníkový systém.....	51
6.6.2	Signály pro spuštění a ukončení generování materiálu z lego kostek .....	51
6.6.3	Signály pro generování materiálu lego kostek pomocí detekce ze senzorů .....	52
6.6.4	Signály robotických operací.....	53
6.7	Návrh řízení pro dopravníky pomocí vývojového diagramu .....	53
6.8	Návrh řízení robota pomocí vývojového diagramu.....	54
6.9	Návrh řízení generování materiálu pomocí vývojového diagramu .....	54
6.10	Modules Viewer .....	58
6.11	Logic Resource pro řízení a generování materiálu.....	60
6.11.1	Logický blok pro generování .....	60
6.11.2	Logický blok pro spuštění robotické operace.....	61
6.11.3	Logický blok pro změnu směru dopravníku_2.....	62
7	Provedení testu funkčnosti digitální úlohy pomocí simulace v TPS.....	64
7.1	Robot Viewer .....	64
7.2	Simulation Monitor .....	65
8	Závěr .....	67

## **Seznam použitých symbolů a zkratek**

PLC – Programmable Logic Controller

VC – VISUAL COMPONENTS

TSP – Tecnomatix Process Simulate

HIL – Hardware In the Loop

OPC – Open Platform Communication

OPC UA – Open Platform Communication Unified Architecture

OPC DA – Open Platform Communication Data Access

PLCSIM – PLC Simulation

RSL – Robot Sequence Language

API – Application Programming Interface

TPCF – Tool Center Point Frame

VR – Virtual Reality

OLP – Offline Logic Programing



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Prostředí VISUAL COMPONENT [11].....	17
Obrázek 2: Připravený simulační model z knihovny modelů .....	20
Obrázek 3: Projekt Smart Factory v prostředí TPS.....	21
Obrázek 4: Schéma návrhu demonstrační úlohy.....	23
Obrázek 5: Produkt z lego kostek .....	25
Obrázek 6: Strojní výkres produktu z lego kostek .....	25
Obrázek 7: Komponenty z lego kostek pro stavbu boudy pro psa.....	26
Obrázek 8: Strojní výkres základny pro stavbu produktu z lega.....	26
Obrázek 9: Strojní výkres bloku střechy z lego kostek .....	27
Obrázek 10: Strojní výkres bloku zadní stěny z lego kostek .....	27
Obrázek 11: Strojní výkres bloku levé stěny z lego kostek.....	28
Obrázek 12: Strojní výkres bloku pravé stěny z lego kostek .....	28
Obrázek 13: Strojní výkres hliníkových profilů použitých v demonstrační úloze .....	29
Obrázek 14: Strojní výkres podstavky pro robota.....	30
Obrázek 15: Strojní výkres stolu pro materiál.....	31
Obrázek 16: Strojní výkres dopravníkového stolu .....	31
Obrázek 17: Strojní výkres dopravníkové struktury .....	32
Obrázek 18: Strojní výkres ochranné zábrany .....	33
Obrázek 19: Chapadla od firmy SCHUNK [20] .....	33
Obrázek 20: Popis částí chapadel SCHUNK [20].....	36
Obrázek 21: Strojní výkres kleštin .....	37
Obrázek 22: EPSON ProSic C4L-A901S [21].....	38
Obrázek 23: Demonstrační úloha vytvořená v prostředí TPS .....	39
Obrázek 24: Vytvoření dopravníku.....	40
Obrázek 25: Vytvoření křivky dopravníku .....	40
Obrázek 26: Definování vlastností dopravníku.....	41
Obrázek 27: Vytvoření objektu paletka.....	42
Obrázek 28: Definování paletky .....	42
Obrázek 29: Schéma rozmístění čidel pro řízení dopravníku .....	43
Obrázek 30: Vytvoření LightSensoru .....	44
Obrázek 31: Nastavení objektu, který má být snímán.....	45
Obrázek 32: Postup pro vytvoření operací.....	46
Obrázek 33: Vytvoření a nastavení doby života .....	46
Obrázek 34: Větvení operací v Sequence Editoru.....	47
Obrázek 35: Materiál Flow Viewer.....	48
Obrázek 36: Kinematics Editor pro robota EPSON.....	48
Obrázek 37: Kinematics Editor pro chapadla SCHUNK .....	49
Obrázek 38: Path Editor s nastavenými souřadnicemi robotických operací .....	50
Obrázek 39: Sequence Editor s nastavenými vazbami.....	50
Obrázek 40: Vývojový diagram pro řízení jednotlivých dopravníků.....	55
Obrázek 41: Vývojový diagram pro řízení robotických operací.....	56
Obrázek 42: Vývojový diagram pro řízení generování materiálu.....	57
Obrázek 43: Modules Viewer pro jednotlivé dopravníky .....	58
Obrázek 44: Modul pro dopravnik_1 .....	59

Obrázek 45: Podmínka pro rozjezd dopravniku_1 .....	59
Obrázek 46: Logický blok generování materiálu .....	60
Obrázek 47: Nastavení logického bloku pro generování .....	61
Obrázek 48: Logický blok pro start robotických operací.....	61
Obrázek 49: Nastavení logického bloku pro start robotických operací .....	62
Obrázek 50: Logický blok pro změnu směru dopravniku_2 .....	62
Obrázek 51: Nastavení logického bloku pro změnu směru dopravniku_2.....	63
Obrázek 52: Robot Viewer.....	64
Obrázek 53: Přehled zpráv v Simulation Monit.....	66

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti chapadel SCHUNK EGP 40-N-N-B [20] .....	35
Tabulka 2: Základní vlastnosti robota [21] .....	38
Tabulka 3: Seznam čidel pro řízení dopravníku.....	43
Tabulka 4: Dopravníkové signály .....	51
Tabulka 5: Signály pro ukončení generování materiálu.....	51
Tabulka 6: Signály pro spuštění generování materiálu .....	52
Tabulka 7: Generování materiálu.....	52
Tabulka 8: Robotické operace pro start.....	53
Tabulka 9: Robotické operace pro end.....	53

# 1 Úvod

Hlavním úkolem této bakalářské práce je vytvořit model digitálního dvojčete pro demonstrační úlohu pomocí vhodného softwarového nástroje. Do problematiky digitálního dvojčete nás uvádí kapitola 2, ve které jsou vysvětleny jednotlivé směry. Součástí je taktéž popis všeho, co inovace přináší a jak lze řešit nové problémy pomocí nástroje digitální továrny.

Kapitola 3 se zabývá analýzou možných softwarových nástrojů pro návrh digitálního dvojčete. Obsahuje čtyři podkapitoly, z čehož tři se věnují jednotlivým programům a poslední shrnuje analýzy softwarových nástrojů z podkapitol předchozích (3.1, 3.2, 3.3.). První se zabývá prostředím programu VISUAL COMPONENTS, kde jsou uvedeny možnosti, které tento nástroj obsahuje, například možnosti OPC komunikaci s PLC nebo off-line programování robotů pomocí nástroje společnosti DigiMetrix GmbH. Druhá pojednává o nástroji CIROS Studio od společnosti VEROSIM SOLUTION, který je rovněž popsán se všemi možnostmi, jež nabízí (tj. robotické knihovny nebo možnosti komunikace s PLC). Třetí se věnuje prostředí Tecnomatix Process Simulate od společnosti Siemens, tedy tomu, jak TPS funguje a jaké možnosti poskytuje pro vývoj digitálního dvojčete. Čtvrtá přináší závěr analýzy a shrnutí jednotlivých nástrojů (včetně hloubky možností jejich prozkoumání).

Dalším bodem této práce je definování vhodné demonstrační úlohy pro realizaci digitálního dvojčete, to je popsáno v kapitole číslo 4, v níž je obsažen popis úlohy, jenž je zpracován písemně a také pomocí obrázku, ten představuje blokové schéma pohledu shora na celý proces výroby definovaného produktu, který má být na konci celé simulace složen. Bakalářská práce se tedy zabývá návrhem digitálního výrobního stroje generujícího digitální model produktu. Součástí tohoto oddílu je zdůvodnění, proč bylo vybráno právě dané demonstrační řešení a proč je vhodná zvolená vývojová platforma.

Následujícím oddílem práce je návrh a realizace konstrukčního systému demonstrační úlohy. Jednotlivé podkapitoly se zabývají strojními modely konkrétních komponent použitých v úloze. První strojní model, jenž je popsán v úvodní podkapitole, je produkt z lego kostek - bouda pro psa. Poté následuje podkapitola, která se zabývá jednotlivými komponenty pro stavbu produktu z kostek, a pod ní strojní výkres, na němž lze vidět parametry zmiňovaných částí. Za těmito podkapitolami následuje popis strojního zařízení výrobního stroje. Nejprve je popsána podstava pro robota a to tak, že je vysvětlena stavba její konstrukce a základního prvku pro stavbu tohoto objektu, což je hliníkový profil firmy BOSCH REXHORT, který byl použit i ke stavbě dalších částí demonstrační úlohy. Následuje podkapitola s popisem a strojním výkresem věnovaná stolu na materiál, jenž je vytvořen z hliníkových profilů. Velmi důležitý prvek pro stavbu úlohy je rozebrán v následujících dvou podkapitolách, které se věnují dopravníkovému stolu a dopravníkové struktuře, jež je těmito stoly tvořena. V popisu je zahrnut strojní výkres dopravníkového stolu i jeho slovní popis. Dopravníková struktura je rovněž doplněna textem, který definuje, z kolika částí se skládá a jaký má tvar. Poslední podkapitolou, jež se zabývá statickými prvky, je strojní model bezpečnostní zábrany, zde je zdokumentován celý objekt. Po části, která se zabývá statickými strojními prvky, následují mechanické strojní modely, a to efektor robota, jenž je tvořen chapadly s kleštinami, a robotické stacionární pracoviště. V podkapitole strojní model chapadel a klestín je možno vidět podrobný strojní výkres chapadel od dodavatele tohoto zařízení, součástí je popis výkresu. Pak následuje popis zařízení, poté

technické parametry s tabulkou s nejdůležitějšími informacemi o zařízení. Za nimi je k nalezení obrázek reálného zařízení s principem fungování. Po popisu strojního modelu chapadel pokračuje popis upínacího nástroje chapadla, a to kleštin, kde je uvedeno slovní vysvětlení s výkresem objektu. A jako poslední část kapitoly realizace konstrukčních komponent demonstrační úlohy je stacionární robot EPSON ProSic C4L-A901S, v této podkapitole je uveden popis produktu s tabulkou technický parametrů, ve které se nacházejí informace o nosnostech a pracovních úhlech jednotlivých os. Na konec je umístěn obrázek robotické jednotky, který zobrazuje pracovní úhly jednotlivých kloubů s kótami robota.

Za realizaci konstrukčních prvků je zařazen oddíl, který se zabývá virtuálním návrhem definovaného zařízení v kapitole 4. Tato kapitola integruje do sebe strojní model definované úlohy a pomocí něho je vytvořena simulace virtuálního stroje. Prvním tématem, kterým se kapitola zabývá, je návrh dopravníkového systému. Tato podkapitola je psána formou manuálu proto, že vlastnosti zařízení se definují při vytváření. Podobně je text psán až po podkapitolu 5.3. Dopravníkový systém obsahuje postup jeho vytvoření včetně definování vlastností. Součástí je obrázek, který reprezentuje model systému, v němž je možno si všimnout rozložení čidel, které řídí chod paletky na dopravníku. Obrázek je doplněn o tabulku s názvy senzorů. Poté následuje návrh a vytvoření senzoru detekce, operace pro generování materiálu, větvení materiálu, tok materiálu; těmito vnořenými podkapitolami končí ta část práce, ve které je zdokumentována úloha formou návodu. Pak následuje kinematika robota a chapadel s obrázky, které charakterizují vazby mezi jednotlivými pohyblivými částmi obou zařízení a jsou doplněny vysvětlujícím textem. Následující podkapitolou jsou Pick and Place operace, seznam signálů v simulaci použitých, v první jmenované je možné nalézt informace o tom, kolik robotických operací simulace tvoří a jaké je jejich větvení, druhá obsahuje tabulky se signály, které jsou vytvořeny v simulaci ať už automaticky při vytváření určitých operací, nebo v důsledku potřeby. Podkapitoly 5.7, 5.8, 5.9 se zabývají návrhem řídicí aplikace pro dopravníkový systém a řízení operací pomocí vývojových diagramů, jež znázorňují jednotlivé stavy. Tento celek uzavírají podkapitoly Module Viewers a Logic Resource, které se věnují popisu řízení celé simulace a generování materiálu. První zmíněná oblast je určena pro řízení dopravníkového systému, kde je možno vidět na obrázku program pro řízení. Druhá část obsahuje logické bloky pro spouštění generování materiálu, změnu chodu dopravníku\_2 a spouštění robotických operací.

Předposledním oddílem práce je provedení testu funkčnosti digitální úlohy pomocí simulace v definovaném prostředí. Tato část je realizována ve dvou podkapitolách, které se nazývají Robot Viewer a Simulation Monitor. Nástroje, které jsou součástí programu, v němž byla realizována demonstrační úloha, nabízí v běhu simulace sbírat data pomocí zasílání zpráv o jednotlivých robotických operacích, které mají tři stupně závažnosti, podle nichž je zpráva označena. Jedná se o informace ohledně trajektorií a ukončování i zahajování operací. Velmi zajímavá data nabízí zmiňovaný Robot Viewer, jenž obsahuje grafy, z nichž lze vyčíst rychlosti jednotlivých kloubů nebo celého robota, pohyb jednotlivých os, ze kterých můžeme pozorovat, kdy se osa dostává do maximální polohy.

Závěr práce pak shrnuje všechny poznatky, které byly získány při řešení zadané úlohy, a zároveň uvádí úskalí, která byla v průběhu práce překonána.

## 2 Model digitální továrny

Digitální dvojče je kyberneticky virtuálním modelem strojů, řídicích algoritmů, pracovních postupů a výrobního procesu. Experimentováním s digitálním modelem a vylepšováním jeho vlastností mohou získat výrobci informace o tom, jak by se zařízení mohlo chovat v reálném světě. [1] Velmi rychlý rozvoj automatizace i informačních a komunikačních technologií se současnou otevřeností globálního trhu přináší mnoho inovací do mnoha oblastí výroby. Digitalizace rovněž přináší možnost zkvalitnit, zrychlit a zlevnit práci s přípravou a realizací výroby ať už výrobních strojů, nebo výrobku samotného a následně služeb přes celý životní cyklus výrobku. Digitalizace stojí u zrodu nového výrobku, řídí odběratelsko-dodavatelské vztahy, technologickou přípravu výroby i výrobku, je nepostradatelná ve všech úrovních řízení i ve sféře finanční. Konečným cílem digitální továrny je co nejdetailněji a především systémově plánovat, projektovat, ověřovat a zlepšovat v průběhu všechny struktury. To má za následek redukování dodacího času a taky snižování výrobních nákladů ať už z hlediska materiálu, či času při vývoji. [2][3]

### 2.1 Model digitální továrny pro vývoj výrobních zařízení

Už brzy bude výrobní strojní zařízení od prvního nápadu až po realizaci doprovázet jeho digitální model. S pomocí tohoto modelu totiž producenti výrobních strojů mohou vyladit všechny detaily a chyby vyvíjeného zařízení bez rizika časové a hlavně finanční ztráty. Digitální dvojčata strojů se stávají zcela přirozenou součástí výrobních zařízení, což umožní výrobcům těchto strojů i jejich budoucím vlastníkům a provozovatelům zvýšit efektivitu celkového cyklu výrobku od vývoje až po servis stroje. [4]

Digitální dvojče zjednodušuje proceduru návrhu stroje a šetří čas při jeho uvedení do provozu. Příkladem je zjednodušení koordinace práce mezi odborníky z jednotlivých spekter vývoje, ať už například elektrické nebo mechanické konstrukce, i mezi programátory řídicích systémů, a taky ušetří čas inženýrům na straně zákazníka. Virtuální zprovoznění následně umožňuje odzkoušet jednotlivé funkce stroje na jeho digitálním modelu na nečisto pomocí PLC nebo s využitím PLCSIM ADVANCED, kdy je možné ověřit si správnost vytvořeného kódu pro řízení stroje. Díky tomu PLC programátoři mohou odzkoušet řízení stroje ještě dříve, než bude reálně postaven. Před tím než stroj převezme jeho majitel a začlení ho do svého výrobního portfolia, má možnost díky vytvořenému digitálnímu modelu předem objevit rizika a odstranit je. Digitální dvojče s VR umožní předem a bez rizik vyškolit personál pro obsluhu stroje.[5]

### 2.2 Model digitální továrny pro sběr dat

Informační systém je v každém výrobním podniku už něčím, bez čeho by tento subjekt nemohl fungovat. A mnoho těchto výrobních firem častěji uvažuje o využití automatizovaného sběru dat rovnou z výroby. Nejlepší možností je totiž zapisovat data pouze jednou a to na místě vzniku. To má za následek to, že přímo u výrobních strojů vznikají sběrnice dat pro jejich pozdější

analýzu, protože cílem každého výrobce je využít svoje produkční kapacity na maximum, a pokud možno co nejefektivněji. Efektivita je termín, který se ve spojitosti s technologicko-informačními systémy skloňuje na obchodních schůzkách snad ve všech pádech. Přehlednost a správná organizace trpí právě v částech, kde dochází k zapisování a předávání informací při jednotlivých procesech. Tyto procesy jsou ještě stále v mnoha případech zapisovány ručně a následně z papírové formy předělávány do podoby elektronické. Tento základní bod může být problém i jinak po všech stranách dobrého informačního systému. Tento problém může vyřešit jediné automatizace sběru dat.[6]

Chytré průmyslové řešení a dostupné digitální technologie přinášejí novou dimenzi i do analýzy dat. Výsledky z analyzovaných shromážděných dat jsou dostupné v reálném čase odkudkoliv, což snižuje dobu rozhodování o daném procesu a tím i zmenšení doby možných ztrát. Informační systém, který využívá analytické nástroje, sám předpřipraví a vyhodnotí data a způsobilá osoba poté jenom učiní kvalifikované rozhodnutí. To v praxi může mít za následek to, že i osoba s nižší úrovní řízení může adekvátně a rychle reagovat na mimořádný stav a předejít jeho vzniku.[7]

Jiný obraz využití datových analytických nástrojů představuje koncept digitálního dvojčete, protože pracuje s exaktními, reálnými a historickými údaji, proto je hodně využívá v simulačních modelech kupříkladu při odhalování úzkých hrdel snížené propustnosti v produkčním toku nebo při prediktivní údržbě.[7]

## **2.3 Model digitální továrny z pohledu plánování toku materiálu**

Vnitřní logistika prezentuje nejdůležitější část výrobního procesu továren a neoddělitelnou součást dodavatelského řetězce. Neustálé zásobování výrobních jednotek a pracovišť materiálem na výrobu patří mezi klíčové procesy uvnitř výrobní firmy. Vnitřní logistika pokrývá plánování, výstavbu, revizi efektivního proudu a skladování materiálu, polotovarů a kompletních výrobků ve výrobních postupech a výrobním prostředí. Z toho důvodu musí být vnitropodnikové zásobování hodně flexibilní a pořádně naplánované, protože je nezbytné předcházet možným neočekávaným událostem, jako jsou např. prostoje a zastavení výroby.[8]

Jedním z nástrojů, který řeší digitalizaci a plánování toku materiálu, je software Tecnomatix Plant Simulation, jenž slouží pro vytváření modelů vnitřní podnikové logistiky velmi blízké reálnému chování výrobního toku. Umožňuje vytvářet simulace různých variant a scénářů. Vyhodnocení je realizováno pomocí analytických, grafických a statistických pomocných nástrojů. V systému lze vyhodnotit problematická místa ve výrobě. Dané řešení lze vizualizovat pomocí animací. [9]

### 3 Analýza softwarových nástrojů pro návrh digitálního dvojčete

Tato kapitola je tvořena třemi hlavními podkapitolami, jež se zabývají softwarovými nástroji pro návrh digitálního dvojčete. Každá podkapitola obsahuje výčet funkcionalit jednotlivých softwarových nástrojů pro návrh digitálního dvojčete a produktů třetích stran, které přinášejí nové možnosti. V závěru jsou pak popsány praktické poznatky, které popisují výhody a nevýhody jednotlivých softwarových nástrojů.

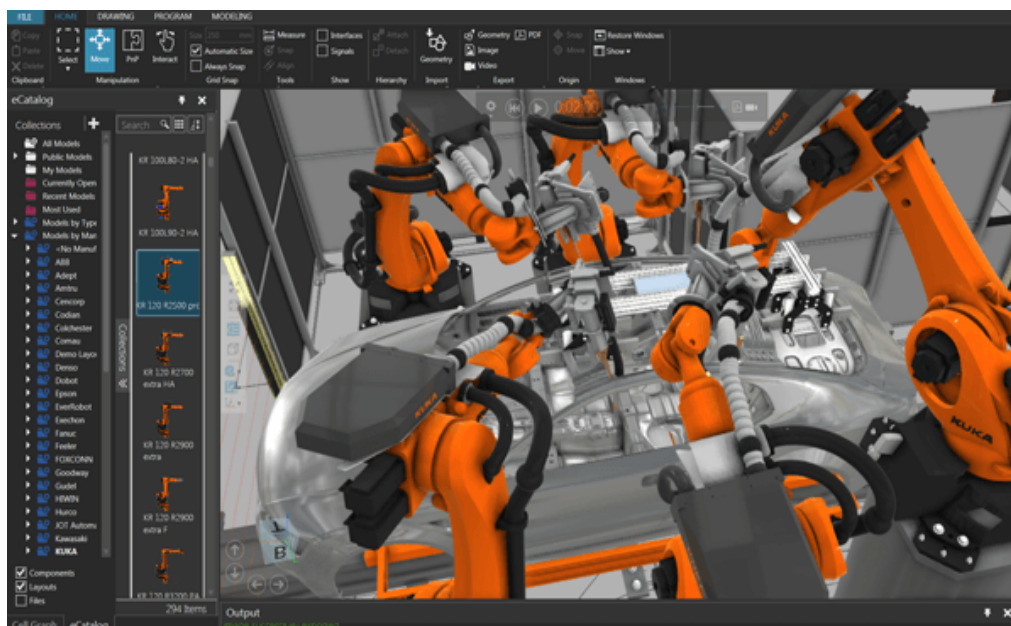
#### 3.1 VISUAL COMPONENTS (VC)

Je platforma pro vývoj digitální továrny. VC je vývojář 3D simulačního softwaru, který používají stovky společností po celém světě. Platforma VC je stvořena pro plánování a rozvržení výroby, výrobních simulací a off-line programování a ověřování kódu. Společnost VC byla založena v roce 1999 a její vizí bylo vytvořit uživatelsky přívětivou platformu pro simulaci výrobních a vývojových procesů. [10]

V roce 2003 vydala společnost VC ve spolupráci se společností KUKA simulaci pro off-line programování robotů značky KUKA. Nato v roce 2005 společnost představila svoji první sadu rodinných 3D produktů značky VC. Po dlouhé době společnost v roce 2016 přišla s produktovou řadou VC 4.0, tato platforma byla postavena na nové architektuře a novém softwaru tak, aby využívala moderní výpočetní technologii 64bitového procesoru. Celé uskupení programů bylo navrženo s otevřenou architekturou rozhraní API, která slouží pro usnadnění přizpůsobit vývoj třetích stran. V roce 2017 se společnost VC v rámci akvizice stala součástí firmy KUKA. Společnost KUKA slíbila, že VC zůstane neutrální simulační platformou, která bude obsahovat robotické modely jiných výrobců. V současnosti VC nabízí 1200 robotických modelů od 30 výrobců z celého světa. [10] Na obrázku 1 je vyobrazena simulace, která znázorňuje možnosti tohoto programu a jeho uživatelské prostředí.

Simulace u VC díky aktualizaci a novému sestavení chování ve VC 4.1 je definice daných komponent mnohem snazší. Tato aktualizace zahrnuje funkci physic, která je navržena tak, že využívá integrovaného NVIDIA PhysX engine. To umožňuje VC využívat ještě více věrohodnější fyzikální vlastnosti, které respektují fyzikální zákony, jako je gravitace nebo odraz a taky chemické vlastnosti daných materiálů. Jak už bylo řečeno, nová verze VC 4.0 a následující verze VC 4.1 byla vyvinuta pro vlastnosti 64bitových operačních systémů Windows, což přináší lepší grafiku a mnohem rychlejší čas pro nahrávání souborů a vytváří tak lepší uživatelský zážitek. Díky tomu jde tvořit rozsáhlejší modely simulací. Vylepšená práce s pamětí přináší hladký běh programu s náročnými simulacemi na pozadí při současném běhu několika programů najednou. [12]





Obrázek 1: Prostředí VISUAL COMPONENT [11]

Nová verze uživatelského prostředí dává vysokou přidanou hodnotu pro kvalitu práce s programem. VC verze 4.1 využívá Ribbon menu s kvalitně seřazenými příkazy. Jde tak dobře vyhledat nové funkce a vlastnosti, které program nabízí. 3D navigování je pořád dostupné tak, že není žádný problém zoomovat na objekty, posouvat a rotovat okolo objektů. [12]

Další velkou výhodou VC je otevřená architektura, která umožňuje třetím stranám, aby uzpůsobily vývoj pro svoje potřeby. Modulární architektura, kterou VC oplývá, poskytuje uživateli lepší přizpůsobení prostředí speciálním potřebám pro danou úlohu. VC 4.1 je vyvinut na technologii NET., která je u všech vývojářů dobře známá. Lze taky použít rozhraní pro vývoj Python API a to v celém balíku VC 4.1. [12] „Funkce na úrovni servisní vrstvy jádra programu byly redefinovány s cílem umožnit snazší zákaznické úpravy všech vlastností programu - od uživatelského rozhraní po chování simulace.“ [12]

VC lze taky využít při testování a učení si vytvářet programy pro tvorbu robotických trajektorií. Toto je celé uskutečněno díky společnosti DigiMetrix GmbH, která vyvíjí rozhraní pro tvorbu řídicích aplikací ve VC 3DCreator. DigiMetrix GmbH propojuje VC 3DCreator s vývojovým prostředím LabVIEW od společnosti NATIONAL INSTRUMENTS, díky tomu si můžeme naprogramovat řídicí aplikaci v LabVIEW a následně si ji ověřit ve VC 3DCreator. Tyto technologie nám umožňují programovat off-line, vytvářet programy a následně je ladit a prověřovat externí zpracování dat (signály naměřené ze senzorů). [13]

Co nabízí VC:

- Používá velkou škálu robotů od společností z celého světa, která se neustále rozšiřuje.
- Umožňuje si vytvořit program pro robota tak, aby bylo možné ho otestovat v simulaci a nedošlo tak k finančním ztrátám u reálného modelu.
- Pomáhá ověřovat dosah daného robota a vybrat správný uchopovací nástroj.
- Lze vytvořit ověřovací simulaci pro spolupráci více robotů a odladit možné kolize.
- Umožňuje vytvářet simulace jiných zařízení, jako jsou dopravníkové systémy nebo uchopovací zařízení robotů a mnoho dalších prvků. [14]

Platforma VISUAL COMPONENTS obsahuje elektronickou knihovnu komponent, které jsou dostupné prostřednictvím internetu. Knihovna VC obsahuje řadu modelů robotů a neustále roste. Současná knihovna obsahuje roboty těchto výrobců: ABB, Adept, Codian, Comau, Denso, Dobot, Epson, ESTUN, EverRobot, Exechon, Fanuc, Gudel, HIWIN, Kawasaki, KUKA, LESTA, Mitsubishi, Nachi, Omron, OTC Daihen, Panasonic, Precise Automation, Reis, Schneider Electric, Schunk, Siasun, Stäubli, TATA, Techman Robot, Toshiba, Universal Robots, Yamaha, Yaskawa. [14]

Jestli model robotického ramene, který potřebujeme, není obsažen v knihovně, tak je možnost použít volně stažitelný doplněk, který slouží jako průvodce tvorby robota a vytvoří model robota. Tento doplňkový modul dovoluje uživateli vkládat parametry robota, jako jsou délka ramene, maximální/minimální úhly daných kloubů. Modul průvodce, pak vygeneruje robotické rameno o správných rozměrech, současně vytvoří i kinematiku a jiné vlastnosti požadované k vytvoření zcela funkčního modelu robota pro prostředí VISUAL COMPONENTS.

VISUAL COMPONENTS také nabízí kontrolu kolizí při plánování rozložení jednotlivých procesů. Nastavení cest, kterými je vybavení přemísťováno a krokováno skrze proces ke kontrole kolizí a nebezpečných stavů. [14] Programovací jazyk všech robotických systémů je RSL (Robot Sequence Language – robotický sekvenční jazyk). RSL je vytvářen pomocí normy RRSII, je lehce použitelný pro programování robotů. RSL může být použit pro přímé napojení do digitální rozvodné skříně nebo softPLC pomocí komunikačního rozhraní RS232 nebo COM. Využití nativního robotického programovacího jazyka a digitální robotické rozvodné skříně může být proces digitálních vstupů a výstupů a časů programovacích cyklů, je schopen kontrolovat s vyšším stupněm přesnosti. [14]

Klasický systém VISUAL COMPONENTS nabízí celou řadu různých kinematických chování pro simulaci velké množiny typů robotů: kartézských, kloubových, delta, paralelogramů a SCARA. Mimo jiné kromě standardní kinematiky poskytované systémem programu lze vytvářet vlastní algoritmy pro řízení kinematiky v Python. [14]

## 3.2 CIROS Studio

CIROS Studio je softwarová platforma pro návrh simulací. S pomocí CIROS Studio je možné vyvíjet modely výrobních robotických nebo lidských pracovišť, složitých výrobních procesů. Vytvářet náročné vizualizace pro automatizované závody. CIROS Studio neslouží jenom pro vytváření simulací pro vývoj řídicích algoritmů, ale také lze tuto platformu využít pro digitální

dvojče. Model simulace lze připojit k reálnému modelu pře OPC komunikaci. Tato platforma také nabízí offline programování robotů, analýzu dosažitelnosti a simulace kolizí jak robotických stanic, nebo jakýchkoliv jiných zařízení s kinematikou. [15]

Hlavní parametry a komponenty programu jsou velké knihovny robotických ramen o velikosti 1000 modelů až od 15 výrobců. Snadné vytváření a definování kinematiky. Simulace fyzikálních zákonů a procesů s nimi spojenými. Program je vybaven třemi programovacími jazyky od společnosti KUKA, ABB, Mitsubishi. Tyto programovací jazyky slouží k vytváření programů pro robotická ramena daných značek. Dále program podporuje jazyk IRL pro sekvenční řízení všech robotických značek. V programu je taky obsažen CAD import pro modely navržené v jiném vývojovém prostředí, ve kterém lze vytvořit strojní model. Tato platforma umožňuje vytvářet jednoduchá strojní tělesa. Není však navrhována jako CAD software. [15]

Software je uzpůsoben pro vytváření krátkých videí pro prezentace daného řešení. Obsahuje vytvoření kamerového systému s libovolným počtem scén a také pohledy v řetězech. Nahrávání videa je plynule mezi scénami. Je možné dané video exportovat. [15]

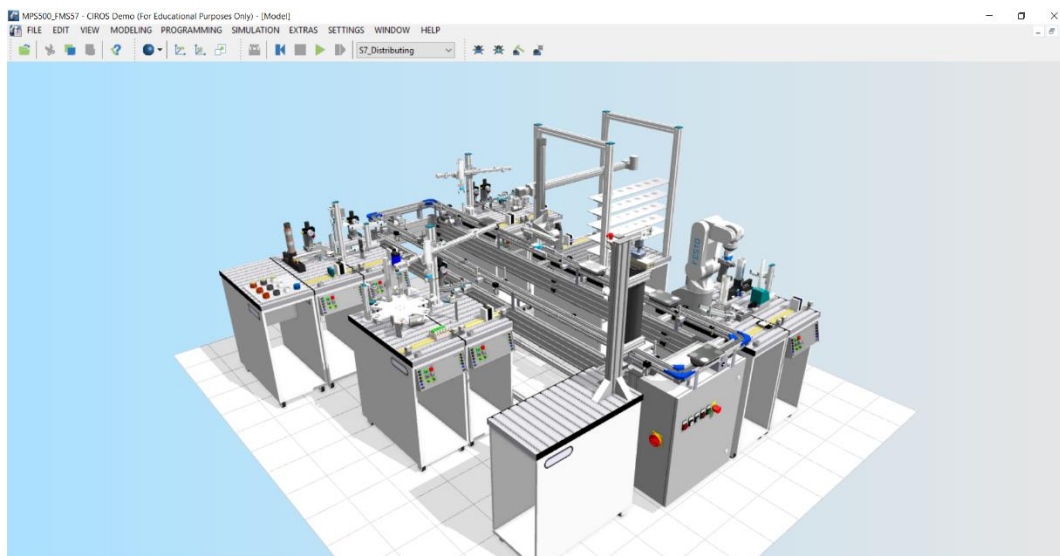
Práce s platformou CIRUS Studio umožňuje simulaci typu HIL (Hardware In the Loop), což je systém, který využívá reálný hardware pro práci se zařízením v digitálním prostředí. Spojení digitálního modelu a reálného hardwaru je možné pomocí komunikace OPC DA a OPC UA. Lze taky využít řízení simulace pomocí emulace PLC systému. U PLC S7 – 300 je to PLCSIM verze 5.4 SP3. A pro verzi S7 – 1500 je to pak PLCSIM Advanced. [15]

Program dále obsahuje modul pro detekci kolizí jakéhokoliv prvku, zejména pak robotických ramen a jejich součástí, jako jsou chapadla a uchopené součástky. Součástí tohoto modulu je možnost konfigurace odezvy na událost kolize. Pro analýzu kolizních stavů je tu možnost zastavit simulaci a také protokolování kolizních stavů s časovou značkou pro pozdější rozebrání problému. [15]

Velkou výhodou tohoto softwaru je, že v simulacích jsou obsaženy základní fyzikální zákony, což je umožněno díky NVIDIA PhysX enginu. Fyzikálními účinky, které program obsahuje, jsou tření a jeho různé typy, dále pak náraz a účinky s ním spojené. Počítá se také s rychlostí a zrychlením. [15]

### **3.2.1 Výukové možnosti platformy CIROS Studio**

Největší výhodou tohoto programu je, že nabízí knihovnu, která obsahuje více jak 30 simulačních modelů, které se dají okamžitě použít k výukovým účelům, a to hlavně k výuce návrhu řídicích aplikací pomocí PLC systému. [15] Jednu z těchto simulací lze pozorovat níže (viz obrázek 2).



Obrázek 2: Připravený simulační model z knihovny modelů

Program obsahuje možnost snadně a rychle vkládat závady. Klasickým kliknutím myši v simulaci na objekt, např. pneumatický píst nebo indukční senzor, vytvořím poruchový stav. Tato funkce přináší nové výukové možnosti a to hlavně do oblasti trénování systematického uvažování studentů. [15]

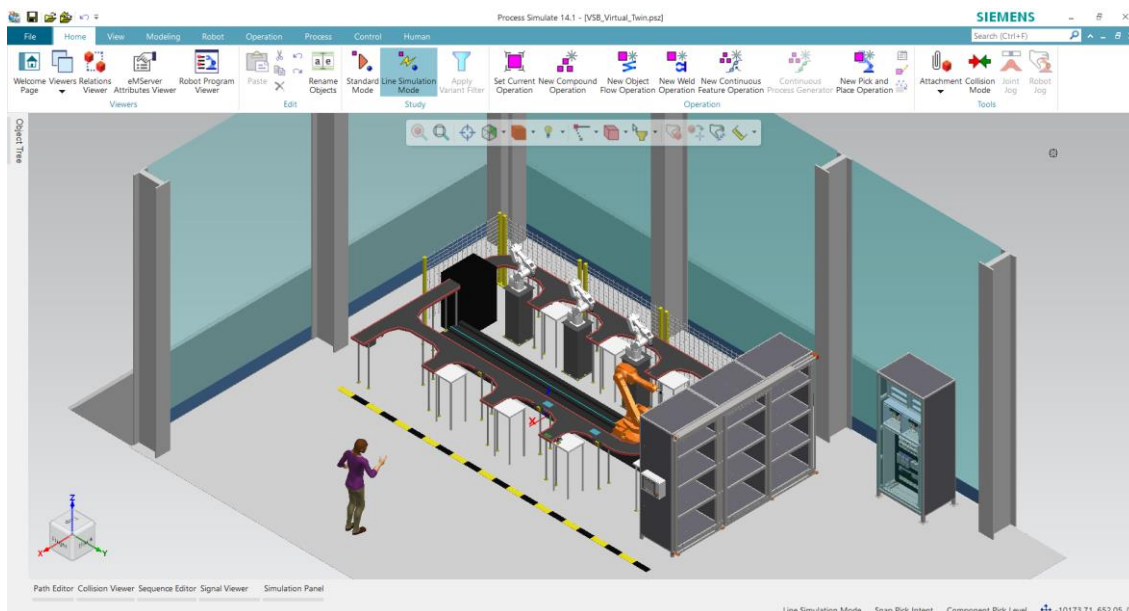
### 3.3 Tecnomatix Process Simulate (TPS)

TPS je program z velké platformy pro vývoj digitální továrny Tecnomatix od společnosti Siemens AG. Tento program je velice komplexní, slouží pro vývoj digitálního dvojčete. Jako takový TPS nabízí vytvoření digitálního modelu výrobního zařízení ať už výrobních linek nebo jejich komponentů jednotlivých robotických ramen nebo pneumatických pístů. [16]

Cílem této platformy je, aby při vývoji automatizovaného výrobního zařízení byly vytvořeny takové simulace, které vedou k co největší optimalizaci výroby a zvyšování efektivity výrobních strojů. Zvyšování efektivity pomocí digitálního modelu výroby je možno dosáhnout dvěma cestami. První z nich je simulace kolizních stavů a jejich následné odhalení a návrh protiopatření, které tyto stavy odstraňuje. Druhou možností je vytvoření digitálního modelu výrobního stroje, jehož navrhnutý model budeme tak dlouho optimalizovat, dokud nedojde k tomu, že stroj bude daný výrobek produkovat za co možný nejmenší čas.

Práce ve vývojovém prostředí se skládá z návrhu 3D strojního modelu, to je umožněno realizovat dvěma způsoby, buďto návrhem přímo v TPS, nebo je možnost vytvořit strojní model v nějakém jiném programu a následně ho pře konvertovat do příslušného formátu a nainportovat ho do TPS. Program bohužel neobsahuje žádné knihovny komponent, jako jsou robotická ramena. Všechny věci si musíte navrhnut sami nebo si je zakoupit od nějaké třetí strany. Je tu taky možnost stáhnout si model ať už robotického ramena, nebo nějakého jiného strojního zařízení ze stránek výrobce a vložit ho do TPS, poté dodělat kinematiku stroje podle toho, jak potřebujete nebo jaká je jeho reálná kinematika.

Program TPS je velice dobře vybaven, co se týče různých operací, hlavně těch robotických, jak pro svařování, tak pro přesun materiálu. Řízení těchto operací se v TPS uskutečňuje pomocí takzvaného Ganttova diagramu, ve kterém se nastaví operace tak, jak chceme, aby se vykonávaly. To se provádí seřazením operací za sebe a následným nastavením propojení.



Obrázek 3: Projekt Smart Factory v prostředí TPS

V programu je možné vytvářet nejen modely, které tvoří stroje, ale je tu i možnost do simulace přidat lidský faktor. A to buď jako simulační model, nebo jako digitální dvojče, což znamená, že člověk v simulaci kopíruje veškerý pohyb reálného člověka. Celý přenos pohybů a motoriky člověka do simulace je zprostředkován pomocí čidel, které jsou připevněny na lidské tělo. Na obrázku 3 (viz výše) vidíme ukázkový projekt v TPS.

Jednou z firem, která přináší pro tuto oblast řešení, je společnost Xsens, jež nabízí platformu Xsens MVN Analyze. Tato platforma umožňuje zachycení pohybu. MVN Analyze je komplexní lidská analýza založená na inerciálních senzorech, dále na biomechanických modelech a algoritmech fúze senzorů. Veškerý přenášený pohyb je real-time. Takže simulace je opravdu věrohodný model digitálního dvojčete. Jednou z dalších výhod Xsens MVN Analyze je to, že dokáže zachytit velmi malé škubání lidského těla a to následně přenést na vysoce dynamické pohyby v simulaci. Xsens MVN Analyze je možné použít i v průmyslové výrobě a to díky vysoké odolnosti například proti magnetickému rušení.[17]

Program TPS lze taktéž použít k vytváření simulací pro virtuální realitu, ty se vytvářejí jako všechny ostatní simulace. Rozdíl je ovšem v tom, že k tomuto druhu simulace je pouze potřebné mít daný hardware, který umožní vstup do VR. V případě TPS je to hardware od společnosti VIVE. Možnost připojení k virtuální realitě umožňují všechny platformy Process Simulate (eMServer, Teamcenter, Disconnected, Standalone). To hlavní, co tento nástroj přináší, je analýza bezpečnostních otázek, optimalizace uspořádání buněk a linií. [18] [19] Největším přínosem této funkce je možnost školení lidí ještě před tím, než nastoupí do ostrého provozu, díky čemuž nedojde ke ztrátě času školením lidí při výrobě.

### **3.4 Závěr analýzy možných softwarových nástrojů pro vývoj digitálního dvojčete**

Z nasbíraných dat jsem došel k závěru, že se jednoznačně nedá říct, který ze systémů je lepší, nebo horší. Každá platforma je vysoce použitelná. Navíc musím uvést, že má analýza není úplně objektivní, protože jsem si nemohl vyzkoušet všechny popsané vývojové programy. Například u programu CIROS Studio je ke stažení pouze demoverze, která je jednak časově omezená, a navíc je naprosto bez jakýchkoliv funkcí a možností něco vytvořit. Jediné, co v této verzi lze dělat, je načtení z knihovny modelů připravený model, ve kterém nelze dělat žádné úpravy, pouze jde spustit simulaci. Zbylé dva programy jsem vyzkoušel a prozkoumal ovšem jen do určité části. Nejvíce praktických poznatků mám o TPS, a to z toho důvodu, že celá moje praktická část bakalářské práce je vytvořena v tomto prostředí. Nejrozsáhlejší teoretické informace vůbec mám o programu VC, jež se nachází v kapitole, která se touto problematikou zabývá, a to proto, že získat praktické informace prozkoumáváním všech aspektů programu je časově náročné.

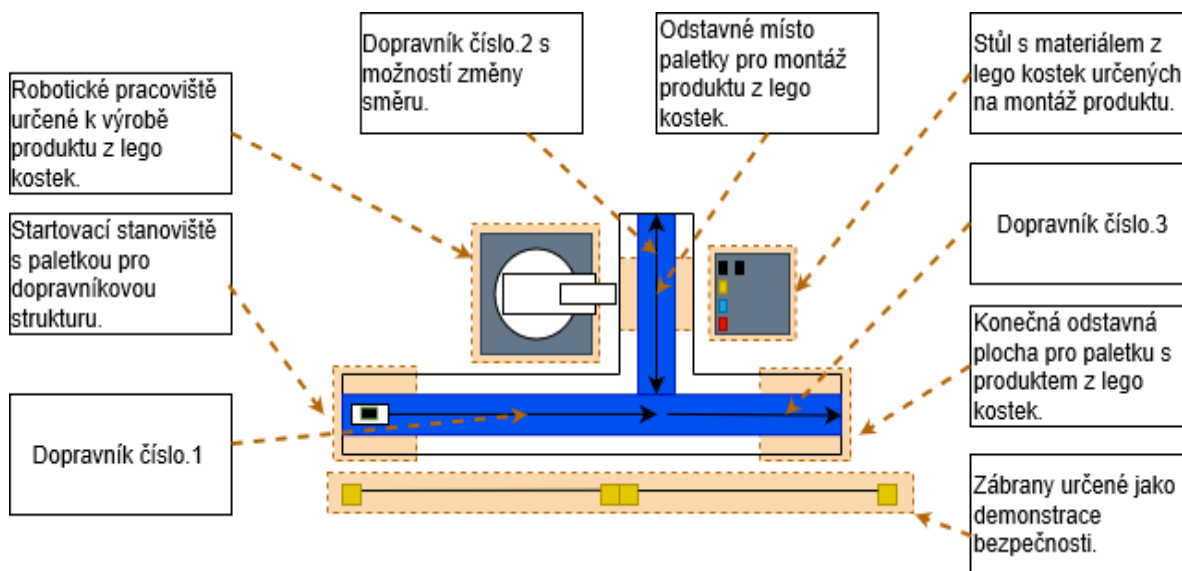
VC má mnoho výhod a jednou z nich je rozsáhlá knihovna strojních modelů, která zahrnuje jak strojní komponenty, tak připravené simulace, které lze okamžitě spustit a použít. V programu je ošetřeno i to, aby nebylo možno tyto modely použít v jiné platformě, než je VC, což je zabezpečeno pomocí speciálního formátu, který je určen jen pro základní knihovnu modelů. Pro účely vývoje, kdy je nutné jednotlivé díly, z nichž se zařízení skládá, vložit do programu, stačí, aby byly ve formátu jt, který je standardním CAD formátem. Další funkcionalitu, kterou VC obsahuje, a kterou uživatel ocení, je funkce drawing, která umožňuje celý projekt, jenž je ve studii otevřen, převést do výkresu z různých pohledů, s tím jsou spojené i další funkce, jako je třeba kótování. A nakonec lze z nasbíraných dat a reálného ověření potvrdit informaci o rozsáhlé knihovně robotických zařízení, která čítá 1200 modelů robotů.

Závěr o programu TPS je nejobjektivnější, protože analyzované informace byly ověřeny prakticky do největší hloubky. Program neobsahuje žádnou základní knihovnu modelů. Vše je potřeba si zakoupit, anebo si vyrobit. Přestože program není navržen jako CAD nástroj, lze v něm velice rychle a snadno modelovat jednoduché objekty, které lze pospojovat do složitějších. Strojní modely vytvořené v TPS však nikdy nebudou tak přesné jako ty vytvořené v CAD programech. Program má svůj vlastní formát, do něhož je potřeba převést všechny komponenty a zařízení, které mají být v prostředí TPS použity. V programu lze vytvořit simulace, které obsahují lidský faktor, to je ale možné ve všech zmíněných programech.

## 4 Definování laboratorní úlohy pro demonstraci digitálního dvojčete

Nejvhodnější zařízení pro demonstraci digitálního dvojčete je jednoduchá úloha, která obsahuje několik robotických operací, z toho důvodu mi byla zadána úloha, která by mohla být jednou z výrobních částí projektu Smart Factory. Jedná se o robotizované pracoviště, které se skládá z jednoho stacionárního robota, který má za úkol poskládat produkt z lego kostek, a to boudou pro psa. Celá demonstrační úloha je vytvořena v programu TPS 14.1 proto, že tento software je součástí majetku VŠB – TUO a je určen pro vzdělávací účely. Na obrázku 4 je znázorněno schéma návrhu struktury demonstrační úlohy.

Úloha se bude skládat z jednoho stacionárního robota a stolu s materiálem na produkt z lego kostek, dopravníkového systému, který má tvar téčka, protože demonstrační úloha má přibližně vycházet z konceptu Smart Factory a taky proto, aby bylo možné vytvořit propracovanější simulaci řízení. Dopravníková struktura je rozdělena na tři části, a to na startovací dopravník číslo 1, odkud vyjíždí paletka s trávníkem, který tvoří základnu pro montáž boudy, za nímž následuje dopravník číslo 2 s možností změny směru. Na tomto dopravníku dojde k zastavení paletky, aby mohl robot poskládat boudu pro psa. Po ukončení montáže dojde k zapnutí dopravníku spolu se změnou směru. Jako poslední je dopravník číslo 3, jenž přebírá paletku s postavenou boudou a dopraví ji na konec, kde dojde k odstavení paletky s produktem. Jednotlivé spouštění a vypínání dopravníku bude probíhat pomocí čidel, jež budou umístěny ve startovacích a koncových bodech jednotlivých dopravníků.



Obrázek 4: Schéma návrhu demonstrační úlohy



## 5 Realizace konstrukčních komponent pro demonstrační úlohu

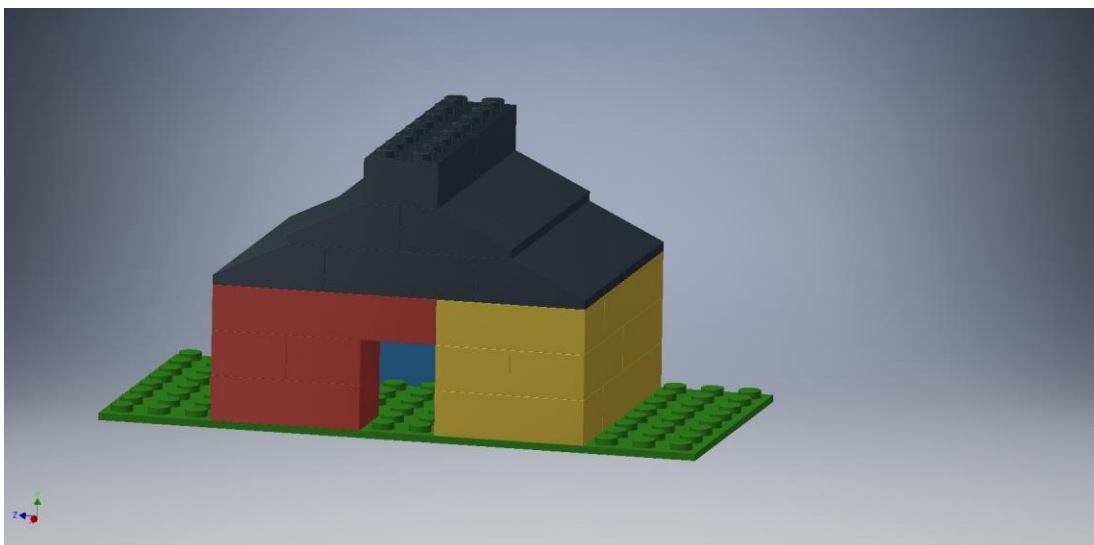
Tato kapitola rozebírá z pohledu strojně konstrukčního jednotlivé části, ty jsou pak rozděleny do podkapitol, přičemž všechny obsahují stručný slovní a zároveň výstižný popis jednotlivých komponent, ze kterých se demonstrační úloha skládá. Každý komponent demonstrační úlohy je vizualizován pomocí obrázku, ty jsou ve formě strojního výkresu. Popis jednotlivých podkapitol obsahuje rozměry jednotlivých objektů, jež vycházejí z obrázků jednotlivých podkapitol.

První částí je uvedení produktu, který má demonstrační úloha za úkol poskládat, a definování jeho charakteristických vlastností, jež tento objekt vystihují. Jeho dalšími podkapitolami pak jsou jednotlivé komponenty, ze kterých se celý produkt skládá, ty obsahují informace, jako jsou rozměry a počet kostek potřebných na stavbu. Náplní následující podkapitoly je popis podstavy pro robota a hliníkových profilů Bosch Rexroth, z nichž je vytvořena podstava pro robota a stůl s materiálem na stavbu produktu z lego kostek. V této a následující části, v níž je zpracován stůl s materiálem, jsou popsány konstrukční návrhy s rozměry a dalšími prvky, které tvoří tyto objekty. V dalších dvou podkapitolách je rozebrán konstrukční návrh dopravníkové struktury a konstrukce dopravníkového stolu, který tvoří základ dopravníkové struktury. V těchto podkapitolách jsou všechny nezbytné informace o realizaci a návrhu těchto částí demonstrační úlohy. Jedním z důležitých prvků, které mají svoje opodstatnění v praxi, ale v této demonstrační úloze je jejich úloha pouze estetická, je bezpečnostní zábrana, která je probrána jako následující podkapitola, v níž se nachází popis konstrukce. Poslední dvě části jsou nejrozsáhlejší. Zabývají se uchopovacím nástrojem a stacionárním robotickým stanovištěm. V části o uchopovacím nástroji neboli chapadlu jsou informace o účelu nástroje, o jeho možnostech a vlastnostech, které jsou doplněny strojním výkresem a obrázkem, jenž popisuje princip fungování celého chapadla i jeho jednotlivé části, ze kterých se skládá. Součástí je rovněž podkapitola, jež se věnuje kleštinám, tj. části, která je neodmyslitelná pro to, aby uchopovací zařízení mohlo něco uchopit a přemístit. Jako poslední a nejdůležitější část celé demonstrační úlohy je rozebrána robotická jednotka, kde opět jsou informace o vlastnostech zařízení, jako jsou jeho možnosti, např. dosahy jednotlivých kloubů nebo zatížitelnost. Vše je doplněno obrázky, které popisují možnosti robota.

### 5.1 Produkt z kostek

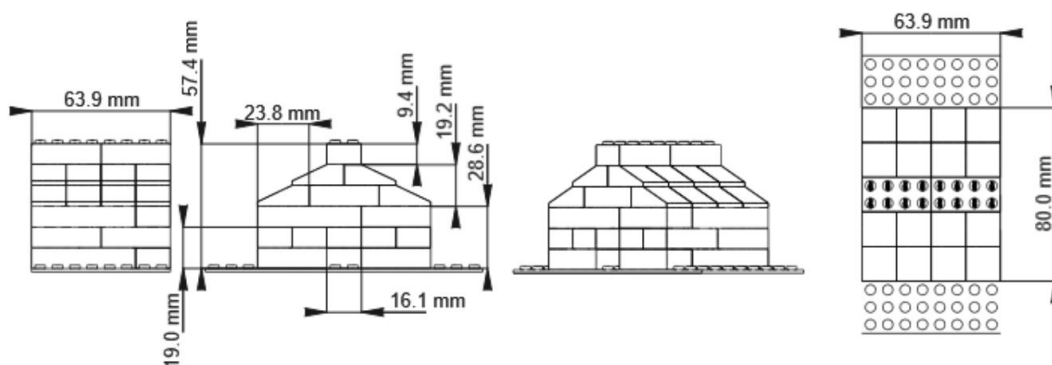
Demonstrační úloha má za úkol poskládat boudu pro psa z lego kostek. Bouda se skládá celkem ze šesti částí, a to ze zeleného trávníku, červené levé stěny, modré zadní stěny, pravé žluté stěny a střechy, která je tvořena dvěma bloky. Na obrázku 5 je vidět 3D model produktu z lego kostek.





Obrázek 5: Produkt z lego kostek

Bouda jako celek je složena celkem ze třiceti čtyř komponent, respektive ze třiceti tří kostek a jednoho trávniku, jenž slouží jako základna. Rozměry, které bouda zabírá na zelené základně, jsou 80 mm a 63,9 mm. Výška boudy je určena od spodní části první kostky, jež je položena na zelenou základnu po nejvyšší kostku střechy, tato hodnota je 57,4 mm. Dílčí výšky zdi a střechy boudy jsou určeny následovně: Výška zdi je určena od spodní části první kostky, jež je položena na zelenou základnu, až po horní část kostky, která je připojena ke střechě. A výška střechy je definována jako vzdálenost spodní části kostky, která je připojena ke zdi boudy, až po horní část nejvýše položené kostky střechy. Strojní výkres (viz obrázek 6) popisuje rozměry produktu z lego kostek.

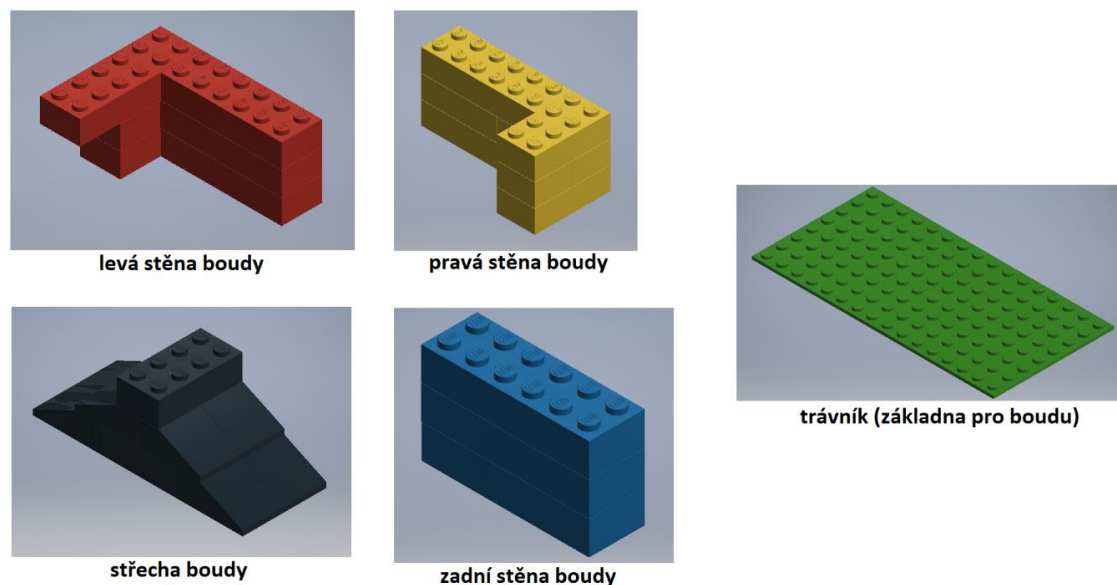


Obrázek 6: Strojní výkres produktu z lego kostek

## 5.2 Komponenty pro stavbu produktu z kostek

Jednotlivé bloky, které tvoří boudu pro psa, jsou definovány z určitého počtu lego kostek. Všechny lego kostky musí být pospojovány tak, aby celý blok byl naprosto pevný a nemohlo

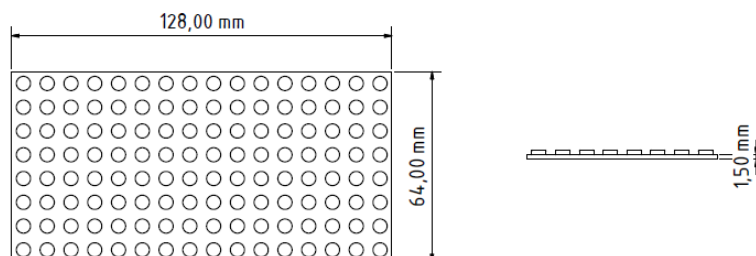
dojít k oddělení jednotlivých kostek, protože jak při reálné montáži, tak i při montáži v simulaci by došlo k tomu, že dojde k poruše, k neočekávanému stavu, kdy robot nebude schopen poskládat produkt z lego kostek. V reálu dojde k tomu, že výrobní zařízení přejde do stavu porucha. V simulaci může dojít ke spoustě variant v závislosti na tom, jak bude celý digitální model výrobního zařízení navržen. Na obrázku 7 jsou zobrazeny 3D modely jednotlivých bloků z lego kostek.



Obrázek 7: Komponenty z lego kostek pro stavbu boudy pro psa

### 5.2.1 Trávník - zelená základna pro stavbu boudy pro psa

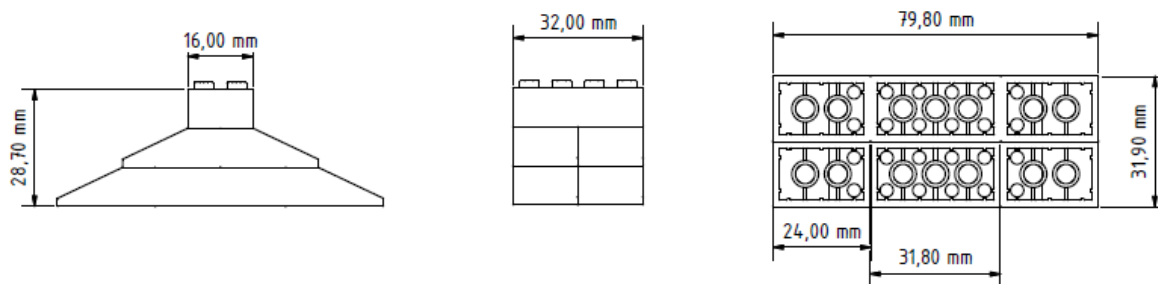
Trávník neboli zelená základna, jež slouží jako základový podklad pro pokládání jednotlivých stěn neboli bloků, které tvoří celkový produkt z lego kostek. Základna je zobrazena na výkresu níže (viz obrázek 8). Zelený trávník má rozměry 128 mm na 64 mm a jeho tloušťka je 1,5 mm. Plocha, již zabírají stěny boudy na zelené základně, je 80x63,9 mm, zbylá nevyužitá plocha na pravé straně od stěny boudy je 48x64 mm a stejná plocha je pak také nevyužitá na levé straně od zdi boudy.



Obrázek 8: Strojní výkres základny pro stavbu produktu z lega

### 5.2.2 Střecha - blok z lego kostek na stavbu boudy pro psa

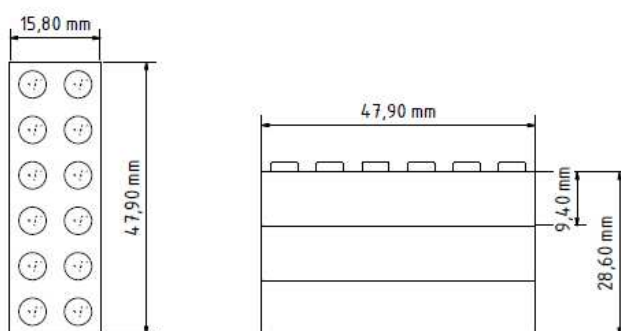
Střecha je koncipována jako dva bloky z lego kostek proto, že nebylo možné poskládat z lego kostek jeden celistvý blok, neboť v nabídce výrobce takové díly nejsou. Celkový počet kostek na stavbu jednoho bloku střechy je jedenáct. Rozměry jednoho bloku střechy jsou 32 mm a 79,8 mm a výška je 28,7 mm (viz obrázek 9).



Obrázek 9: Strojní výkres bloku střechy z lego kostek

### 5.2.3 Zadní zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa

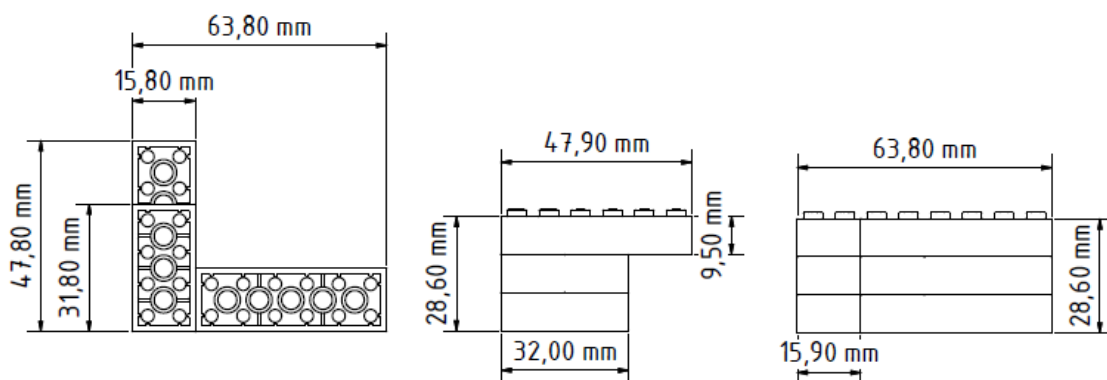
Tento blok je graficky popsán na výkresu (viz obrázek 10) a je složen celkem ze tří kostek o rozměrech 47,9 mm a 15,8 mm. Jednotlivé kostky jsou poskládány na sebe a jejich celková tloušťka pak je 28,6 mm. Jedna kostka má tloušťku 9,4 mm. Blok je situován v zadní části boudy, lze ho vidět přes otvor v boudě, který slouží jako vstupní vchod.



Obrázek 10: Strojní výkres bloku zadní stěny z lego kostek

### 5.2.4 Levá zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa

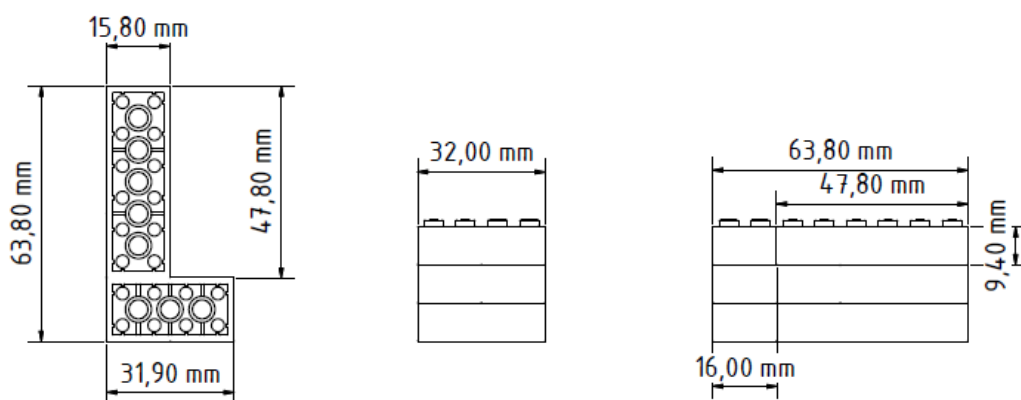
Tato zeď je tvořena sedmi kostkami o různých rozměrech. Rozměry samotného bloku jsou 63,8 mm a 47,8 mm, výška všech tří kostek poskládaných za sebe je 28,6 mm. Tyto rozměry jsou znázorněny na strojním výkresu na obrázku 11. Tento blok je charakteristický tím, že jeho součástí je dlouhá lego kostka, jež slouží jako klenba pro vstupní otvor do boudy.



Obrázek 11: Stroj výkres bloku levé stěny z lego kostek

### 5.2.5 Pravá zeď - blok z lego kostek pro stavbu boudy pro psa

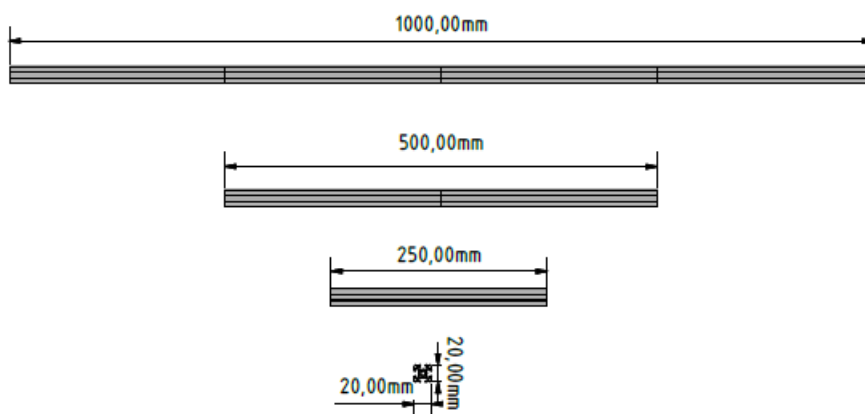
Pravá zeď je druhý největší blok použitý na stavbu boudy, její rozměry jsou 63,8 mm a 31,8 mm a výška je stejná jako u všech předešlých bloků zdí, činí tedy 28,6 mm. Celkový počet kostek, kterých je zapotřebí na vytvoření tohoto bloku, je sedm. Celkový tvar bloku je podobný písmeni „L“ a je vidět níže (viz obrázek 12).



Obrázek. 12: Strojní výkres bloku pravé stěny z lego kostek

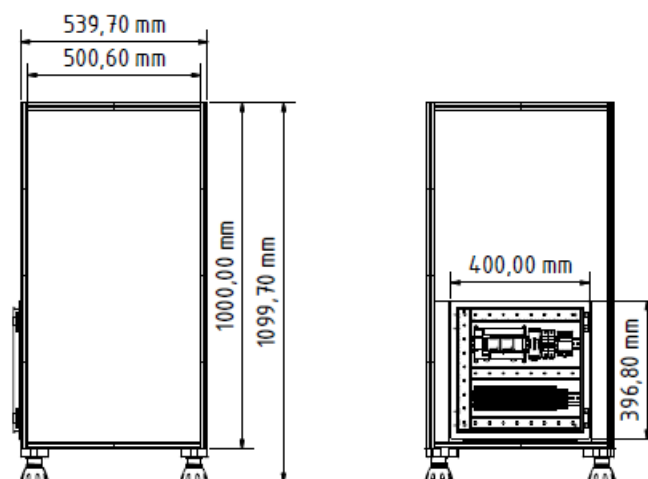
### 5.3 Podstava pro robota

Podstava je vytvořena z několika hliníkových profilů od společnosti Bosch Rexroth, které jsou zobrazeny níže (viz obrázek 13). Základní profil měří 250 mm. Z tohoto profilu jsou poskládané další profily, a to o délce 500 mm a 1000 mm. Celá kostra je koncipována tak, že čtyři profily o délce 1000 mm tvoří sloupy, které spojuje osm 500 mm profilů na horní i spodní části podstavy. Na spodní část podstavy jsou umístěny čtyři nohy o výšce 99,7 mm. Celková výška podstavy s nohami je 1099,7 mm. Šířka podstavy je 539,7 mm a to díky tomu, že k ní je třeba přičíst tloušťku profilu, se kterým je spojen profil horizontálně položený.



Obrázek 13: Strojní výkres hliníkových profilů použitých v demonstrační úloze

Kostra podstavy, tvořena profily, je obložena šesti deskami, z toho tři mají plochu o rozměru 520x970 mm a dvě desky, které jsou umístěny na horní a spodní části podstavy, mají rozměr 510x510 mm. Část ze strany rozvodné skříně je tvořena velkou deskou nad touto skříní o ploše 51x56 cm, zbylé dvě desky mají rozměr 490x410 mm a jsou umístěny na pravé a levé straně od rozvodné skříně. Samotný rozvaděč pak má rozměr 400x396,8 mm.



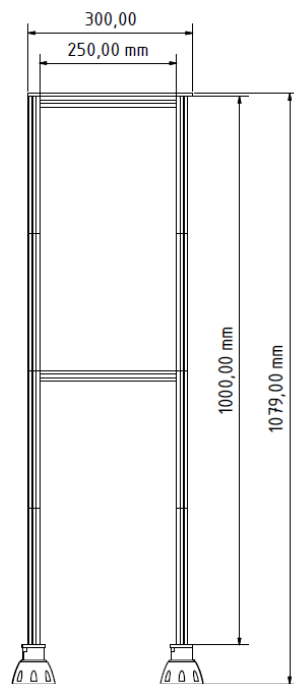
Obrázek 14: Strojní výkres podstavy pro robota

## 5.4 Stůl pro materiál na stavbu boudy pro psa

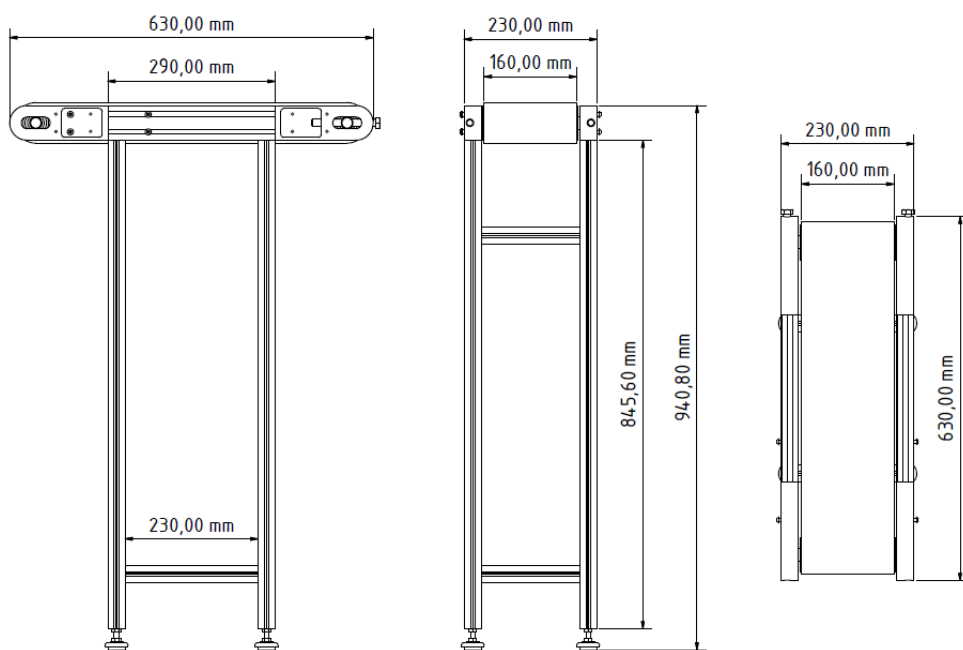
Stůl na materiál je stejně jako podstava pro robota vytvořen z hliníkových profilů společnost Bosch Rexhort. A je zobrazená na obrázku (viz obrázek 15). Základní část stolu tvoří čtyři profily o výšce 1000 mm, tyto profily slouží jako nohy stolu, nohy pak jsou pospojovány osmi 500 mm profily, které jsou umístěny uprostřed a na horní části pod deskou stolu. Samotná deska stolu pak má plochu 300x300 mm. Celková výška stolu je 1079 mm, protože je potřeba připočítat i výšku podstav profilů, který tvoří nohy stolu.

## 5.5 Strojní základna pro stavbu dopravníkové struktury

Dopravníkový stůl je tvořen deseti hliníkovými profily a dopravníkovým pásem, který je na obou koncích natažen na konzolové válce. Celý dopravníkový pás s konzolovými válci je schován pod kryt, jenž je spojen s podstavou z hliníkových profilů, ale také je k němu připevněn konzolový válec pro dopravníkový pás. Hliníkové profily podstavy mají rozměry 230 mm a 845,6 mm. Čtyři profily, které tvoří oporu dopravníkového stolu, mají rozměr 845 mm, zbylé měří 230 mm a zvyšují stabilitu spojením všech čtyř noh ve spodní části podstavy a spojením dvou noh pod dopravníkovým pásem. Celý dopravníkový stůl má na výšku 940,8 mm. Šířka dopravníkového pásu je 160 mm, spolu s krytem je 230 mm, celý dopravníkový pás má délku 630 mm. Dopravníkový stůl byl stažen ze stránek grabcad.com a následně upraven ve 3D strojním programu. Kostru dopravníkového stůl je možné vidět ze tří různých pohledů na obrázku 16.



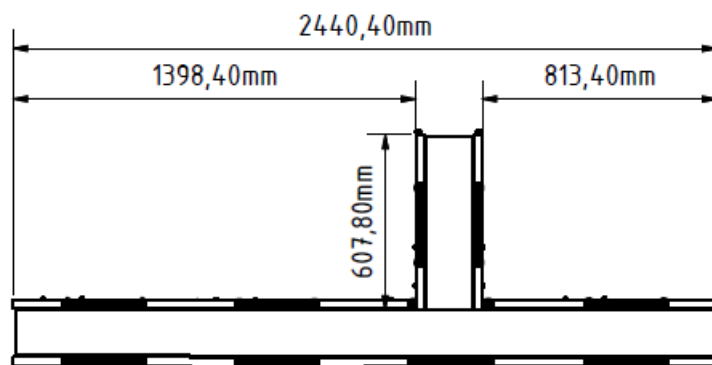
Obrázek 15: Strojní výkres stolu pro materiál



Obrázek 16: Strojní výkres dopravníkového stolu

## 5.6 Dopravníková struktura

Dopravníková struktura je tvořena pěti dopravníkovými stoly, jež mají tvar písmene „T“. Tento tvar lze pozorovat na obrázku 17. Čtyři dopravníkové stoly jsou poskládány za sebou tak, že koncové stoly tvoří bod startovací a konečný. Napojením třetího dopravníkového stolu na pátý vzniká tvar těčka, aby toto spojení bylo možné, je třetí stůl upraven tak, že na pravé boční straně je odstraněn kryt, který schovává dopravníkový pás. Dopravníková struktura má celkovou délku 2440,4 mm, pátý dopravníkový stůl, jenž je napojen na třetí, má délku 607,8 mm. Vzdálenost od startovacího bodu po křižovatku ve tvaru těčka, kterou tvoří třetí a pátý dopravníkový stůl, je 1395,4 mm, vzdálenost od křižovatky do koncového bodu dopravníkové struktury je 812,4 mm.



Obrázek 17: Strojní výkres dopravníkové struktury

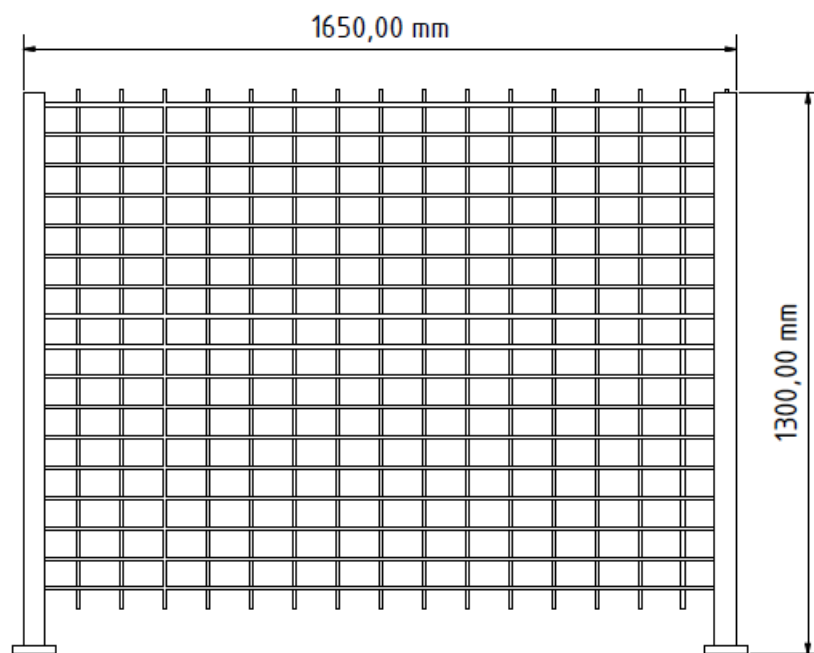
## 5.7 Strojní model bezpečnostní zábrany

Bezpečnostní zábrana je navržena jako plot o výšce 1300 mm a šířce 1650 mm. Konstrukci bezpečnostní zábrany pak tvoří dva sloupky na levé a pravé straně, ty jsou připevněny na paty ve tvaru čtverce. Mezi dva sloupky je vloženo pletivo, které má mřížovitý charakter. Celý strojní výkres bezpečnostní zábrany je zobrazen níže (viz obrázek 18).

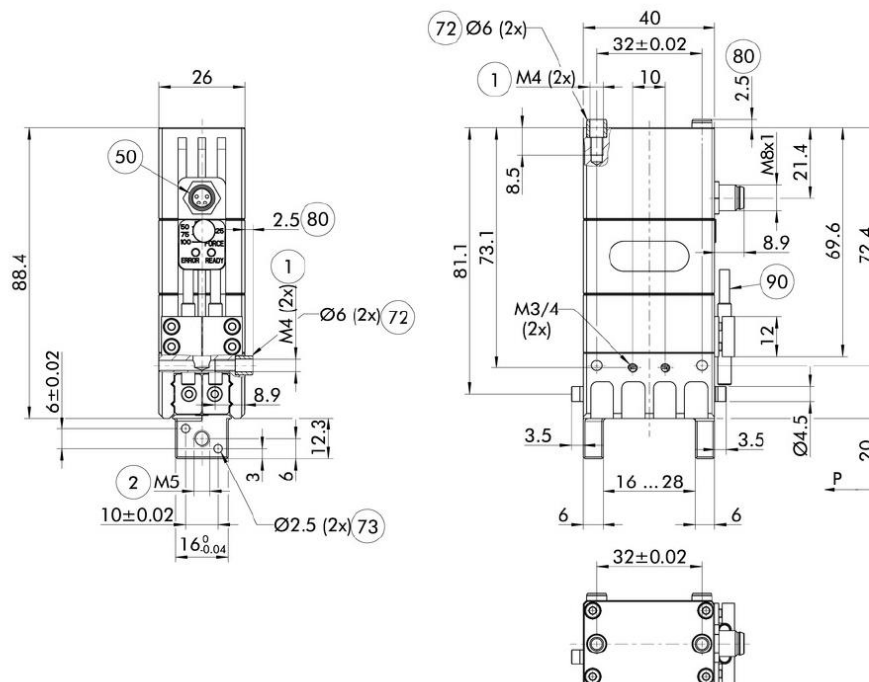
## 5.8 Strojní model chapadel s kleštinami

Jako uchopovací nástroj pro stacionární robotické pracoviště je použito chapadlo od firmy SCHUNK. Jedná se o typ EGP 40-N-N-B, jde o paralelní dvouprsté chapadlo s hladce běžícími základními čelistmi vedenými na válečkových ložiscích. [20] Toto chapadlo je okótováno na strojním výkresu níže (viz obrázek 19).





Obrázek 18: Strojní výkres ochranné zábrany



Obrázek 19: Chapadla od firmy SCHUNK [20]

1. Připojení uchopovacího zařízení.	(1)
2. Připojení prstů.	(2)
3. Připojení prstů.	(50)
4. Vhodné pro centrovací pouzdra.	(72)
5. Vhodné pro centrovací kolíky.	(73)
6. Hloubka otvoru středícího pouzdra v protistraně.	(80)
7. Čidlo vstup	(90)

### 5.8.1 Parametry zařízení

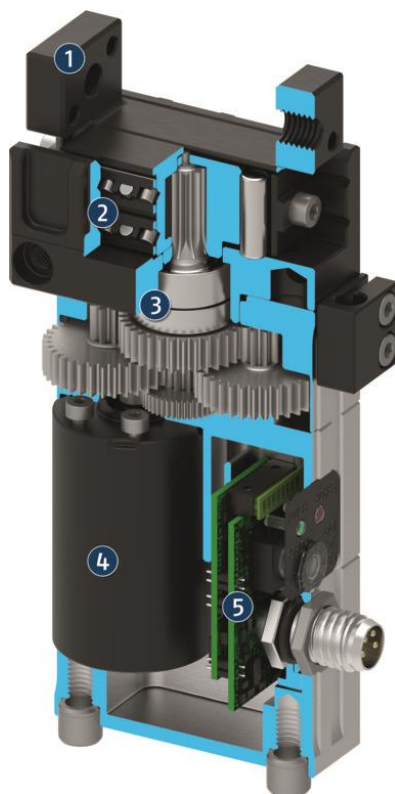
Uchopovací síla zařízení je rovna aritmetickému součtu individuální síly vyvinuté na každé chapadlo ve vzdálenosti P. Celková délka prstů se měří od referenčního povrchu jako vzdálenost P ve směru k hlavní ose. Zařízení má opakovatelnost uchopování předmětu definovanou jako rozptyl skutečné polohy při 100 po sobě následujících pohybů zavření a otevření a roztažení čelistí na tuhém tělese nebo pevném tělese za stejných podmínek. A přesnost opakovatelnosti při všesměrovém polohování je definována jako rozptyl reálné polohy základních čelistí 100 po sobě následujících pohybů do konečné polohy ze stejného směru za stejných podmínek. Přesnost opakovatelnosti při obousměrném polohování je rozptyl reálné polohy čelistí 100 po sobě jdoucích pohybů do konečné polohy z obou směrů za stejných podmínek. Hmotnost výrobku, který je zařízení schopné uchopit a přenést se, vypočítá jako silové uchopování se součinitelem statického tření 0,1 a bezpečnostním faktorem 2 proti vyklouznutí objektu při zrychlení v důsledku gravitace. V případě tvarového nebo silového uchopování jsou přístupné významně vyšší hmotnosti objektu. Zavírací a otevírací doba čelistí je zásadně čas pohybu základní čelisti, případně prstů. Časy reakční PLC nebo spínací časy relé nejsou součástí níže uvedených časů, a je tudíž potřebné vzít je v úvahu při určení časových cyklů. Materiál, z něhož je zařízení vyrobeno, je ocel, ze které jsou vytvořeny základní čelisti, materiál krytu pak je hliníková slitina. [20] V tabulce 1 jsou vypsané vlastnosti chapadel.

### 5.8.2 Princip fungování

Celé zařízení funguje na základě elektromagnetických principů. Spouštění a zavírání čelistí je uskutečněno pomocí servo-elektrického systému, který je realizován jako bezkartáčový stejnosměrný servomotor. Motory pak pohánějí ozubence s pastorkem, který rozevírá a zavírá čelisti, vytváří tedy mechanickou energii. [20] Na obrázku 20 je možné vidět vnitřek ústrojí chapadel SCHUNK.

Tabulka 1: Vlastnosti chapadel SCHUNK EGP 40-N-N-B [20]

ID	0310940
Zdvihy na jednu čelist [mm]	6
Minimální uchopovací síla [N]	35
Maximální uchopovací síla [N]	140
Doporučená hmotnost obrobku [kg]	0.7
Maximální přípustná délka prstu [mm]	50
Maximální přípustná hmotnost každého prstu [kg]	0.08
Zopakovat přesnost [mm]	0.02
Doba otevření [s]	0.2
Doba zavření [s]	0.2
Hmotnost [kg]	0.32
Minimální okolní teplota [°C]	5
Maximální okolní teplota [°C]	55
Třída ochrany IP	30
Hlukové emise [dB(A)]	<70
Délka X [mm]	40
Šířka Y [mm]	26
Jmenovité napětí [V]	24
Jmenovitý proud [A]	0.2
Maximální proud [A]	2
Elektronika ovladače	Integrované
Komunikační rozhraní	Digitální vstupy
Počet digitálních vstupů	2
Maximální moment M <sub>x</sub> [Nm]	1.5
Maximální moment M <sub>y</sub> [Nm]	2
Maximální moment M <sub>z</sub> [Nm]	4
Maximální síla F <sub>z</sub> [N]	170



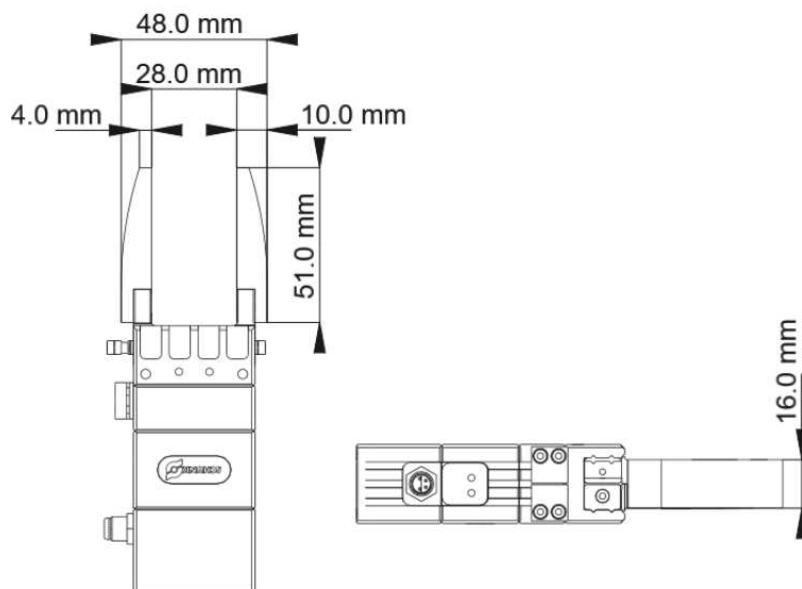
Obrázek 20: Popis částí chapadel SCHUNK [20]

- |                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Základní čelisti                                                                | (1) |
| Pro napojení prstů chapadla pro konkrétní objekty.                                 |     |
| 2. Vedení křížové kladky                                                           | (2) |
| Přesné uchopení díky vedení základní čelisti bez vůle.                             |     |
| 3. Převod                                                                          | (3) |
| Princip hřebenu s pastorkem pro středové uchopení.                                 |     |
| 4. Pohon                                                                           | (4) |
| Bezkartáčový servomotor DC.                                                        |     |
| 5. Řídící elektronika                                                              | (5) |
| Integrovaná ovládací a silová elektronika pro decentralizované řízení servomotoru. |     |

### 5.8.3 Popis strojního modelu kleštín

Kleštiny, které jsou připevněny na prsty chapadla, jsou vlastnoručně navržené. Kleštiny mají rozměry 510 mm na výšku, 10 mm na celkovou šířku a 4mm má šířka vrchní části kleštín.

Vzdálenost dvou vnějších stran kleštin od sebe je 48 mm a vzdálenost vnitřních stran od sebe neboli prostor pro uchopení objektu je 27,6 mm. Celková tloušťka kleštin je 16 mm. Na obrázku 21 je možné vidět strojní výkres kleštin nasazených na chapadlech SCHUNK.



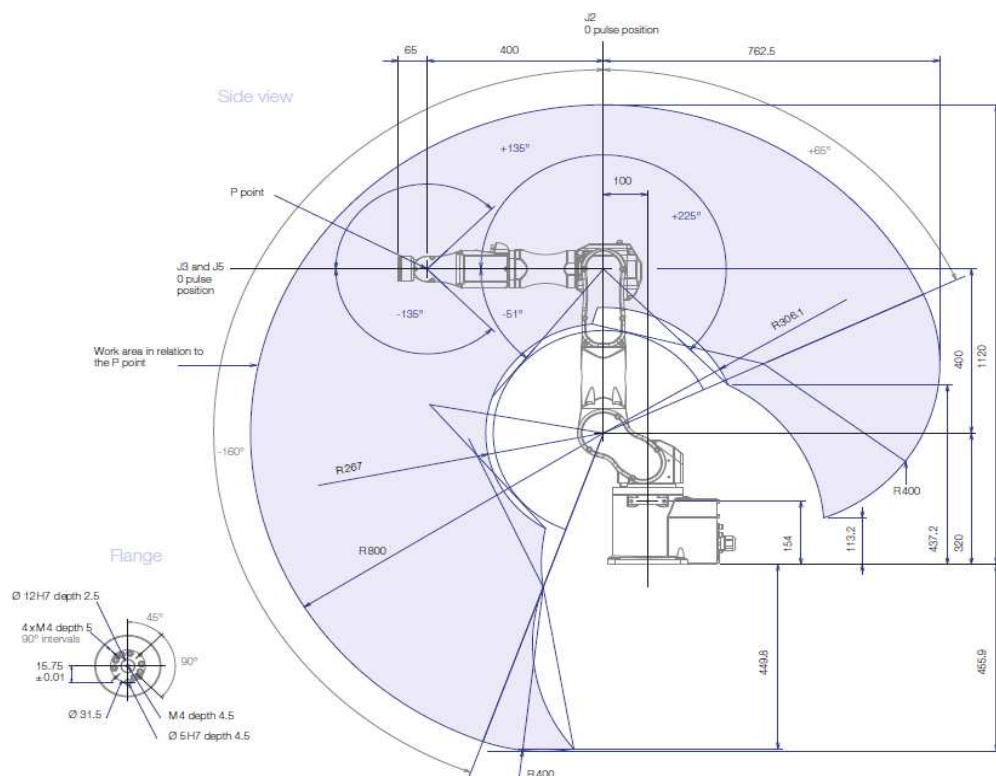
Obrázek 21: Strojní výkres kleštin

## 5.9 Strojní model stacionárního robota EPSON ProSic C4L-A901S

Toto rameno je kompaktní šestiosý stacionární robot, jenž je určen pro náročné práce v malém prostoru. Díky velmi štíhlému návrhu má tento robot dosah 900 mm, aniž by potřeboval mnoho místa, a zároveň je možné, aby uzvedl objekt s hmotností až 4 kg. Pro ovládání tohoto robotického ramene je určen ovladač RC700-A, který má tu výhodu, že je schopen ve složitém řídicím systému ovládat několik robotických ramen a jiných periférií. Jedna z dalších výhod je taky to, že robot je vybaven revoluční technologií snímačů QMENS, jež slouží k omezení drastických vibrací a zvýšení výroby při zachování kvality. [21] Celkové rozměry a možnosti natočení jednotlivých os jsou zaznačeny na obrázku 22 a v tabulce 2 jsou uvedeny všechny důležité vlastnosti robota.

Tabulka 2: Základní vlastnosti robota [21]

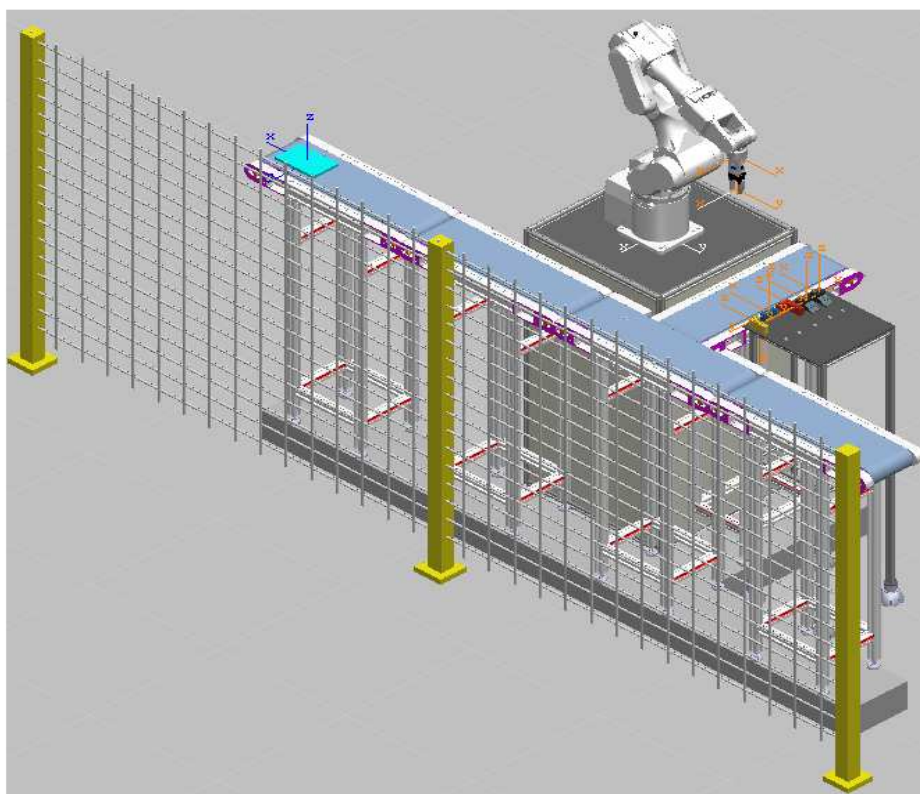
Typ konstrukce	ProSIX (robot se 6 osama)
Nosnost	Nominální 1kg, max 4kg
Horizontální dosah	900 mm
Opakovací přesnost	+/- 0,03 mm
Dosah ovládání	Osa 6: +/- 360°, Osa 5: +/- -135°, Osa 4: +/- 200 °, Osa 3: + 225 ° / - 51 °, Osa 2: + 65 ° / - 160 °, Osa 1: +/- 170 °
Maximální provozní rychlost	Osa 4: 555 °/s, Osa 5: 555 °/s, Osa 6: 720 °/s, Osa 1: 275 °/s, Osa 2: 275 °/s, Osa 3: 289 °/s
Přípustný moment setrvačnosti	Osa 4: 0,15 kg*m <sup>2</sup> , Osa 5: 0,15 kg*m <sup>2</sup> , Osa 6: 0,1 kg*m <sup>2</sup>
Uživatelské připojení elektrické	1x D-sub 9 pinů
Hmotnost výrobku	29 kg
Druh montáže	Terminální
Třída ochrany adresy IP	IP20
Napájecí a signální kabel	3 m
Teplota okolí	5 °C – 40 °C
Relativní vlhkost	20 % - 80 % (bez kondenzace)



Obrázek 22: EPSON ProSic C4L-A901S [21]

## 6 Realizace virtuálního návrhu a simulace v prostředí TPS

Demonstrační úloha se skládá ze dvou částí, a to ze statické a mechanické. Statická část je tvořena podstavou robota, která je vybavena rozvodnou skříní, jež má pouze estetický účel, pěti dopravníkovými stoly, stolem s materiálem a oplocením, které tvoří dvě zábrany ze strany dopravníkových stolů. Mechanická část se skládá ze stacionárního robota Epson ProSix C4L-A901S. Robot je vybaven o chapadlo firmy SCHUNK, které je vybaveno vlastními upínacími kleštinami. Všechny tyto strojní části jsou součástí simulační části demonstrační úlohy. Virtuální část tvoří tři dopravníky, které jsou tvořeny třemi úsečkami na pěti dopravníkových stolech. Pro dopravníky je definována jedna paletka, jež přepravuje materiál. Robotická část simulace je tvořena několika robotickými operacemi Pick and Place. Pomocí těchto operací je uskutečněna stavba produktu z lego kostek. Simulace kromě robotických operací obsahuje také operace pro generování materiálu z lego kostek. Všechny tyto operace jsou spouštěny a ukončovány pomocí čidel, jež také řídí chod dopravníkového systému. Proto, aby celá simulace fungovala, je potřeba vytvořit řídicí program, který je vytvořený v *Modules Viewer*. Generování materiálu a změna směru dopravníku\_2 je uskutečněna pomocí *Logic Resource*, aby všechny procesy byly prováděny sekvenčně, je potřeba nastavit v *Material Flow Viewer* pomocí jednoduchého diagramu, který zabezpečí to, aby jednotlivé operace, které obsahují simulaci, byly vykonávány v dané posloupnosti. Obrázek toho, jak vypadá vytvořená demonstrační úloha, je vidět níže (viz obrázek 23).

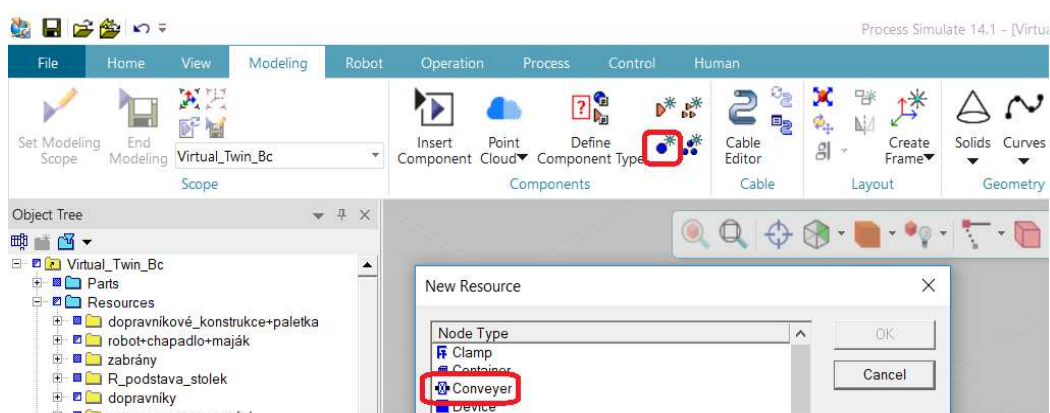


Obrázek 23: Demonstrační úloha vytvořená v prostředí TPS

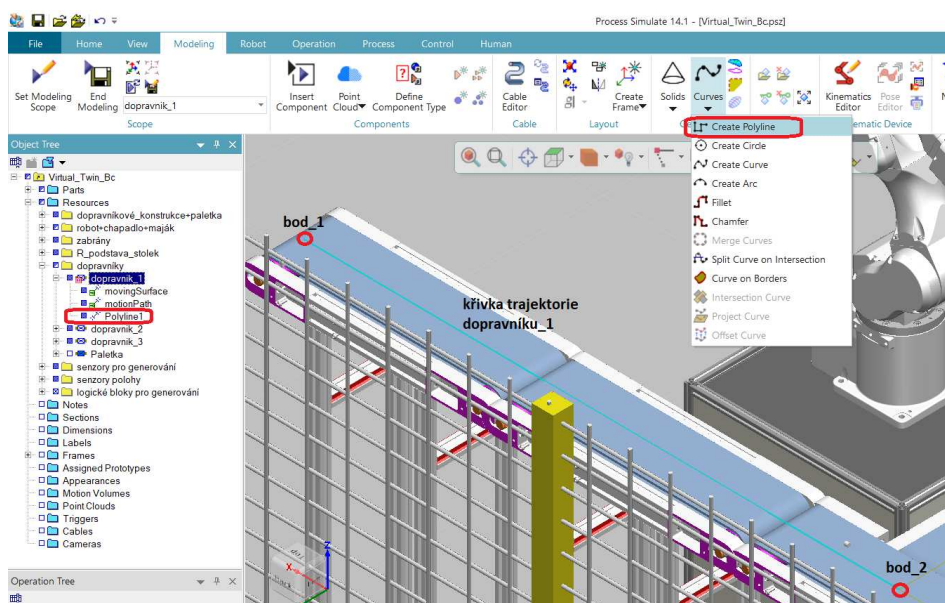
## 6.1 Dopravníkový systém

Systém, který je v simulaci navržen jako dopravník, se skládá ze dvou částí, ze statické strojní, kterou tvoří dopravníková struktura, jež je tvořena dopravníkovými stoly, a části pohyblivé, po jejímž povrchu se mohou pohybovat předměty. Tato část je vytvořena v záložce Modeling v sekci *Components New Resource* jako *Conveyor*, jenž je vidět na obrázku 24.

Poté, co je vytvořen *Conveyor*, je potřeba vytvořit křivku trajektorie, po které se bude pohybovat zvolený objekt. To se provádí rovněž v záložce *Modeling* v sekci *Geometry*, kde se zvolí *Curves* a následně *Create Poline*. Křivka dopravníku je definovaná jako úsečka pomocí dvou bodů, ve kterých dopravník začíná a končí. Postup pro vytvoření křivky trajektorie je vidět na obrázku 25.



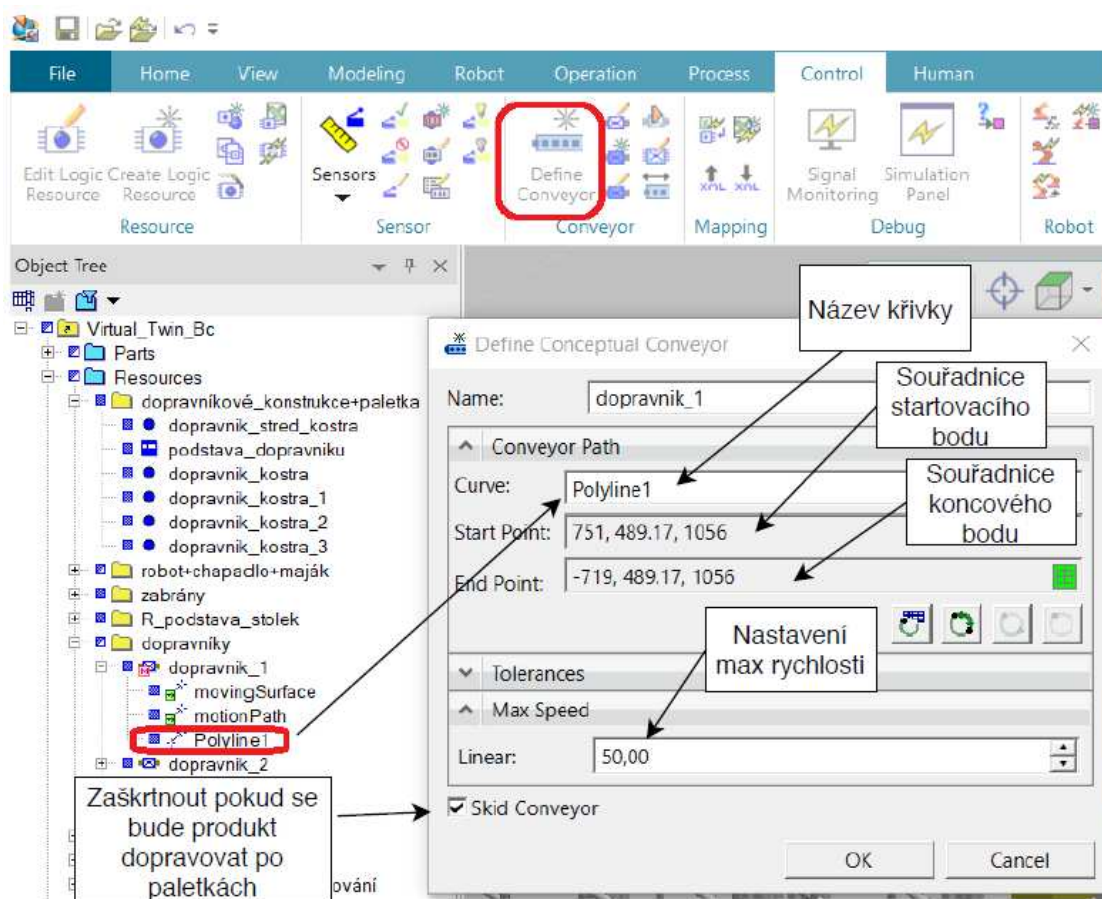
Obrázek 24: Vytvoření dopravníku



Obrázek 25: Vytvoření křivky dopravníku

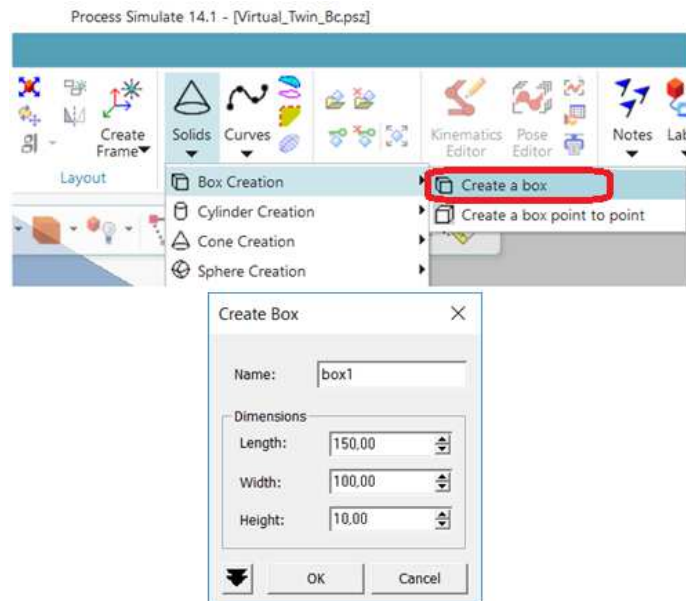


Aby vytvořený dopravník byl funkční, je potřeba definovat jeho trajektorii. Nestačí, že je vytvořena křivka v těle objektu *Conveyor*, ale musí být pomocí definování nastaveny jeho další vlastnosti. To vše je provedeno v záložce *Control* v sekci s názvem *Conveyor*, kde je použita funkce *Define Conveyor*. U dopravníku je definována křivka, její počáteční bod a koncový bod, maximální rychlost a je zaškrtnuta kolonka *Skid*, která říká, že dopravník bude obsahovat objekt, paletku, která bude po jeho trajektorii jezdit a dopravovat materiál. Stejným postupem jsou vytvořeny dopravníky 2 a 3. Vytvořená křivka trajektorie dopravníku je vidět na obrázku 26.



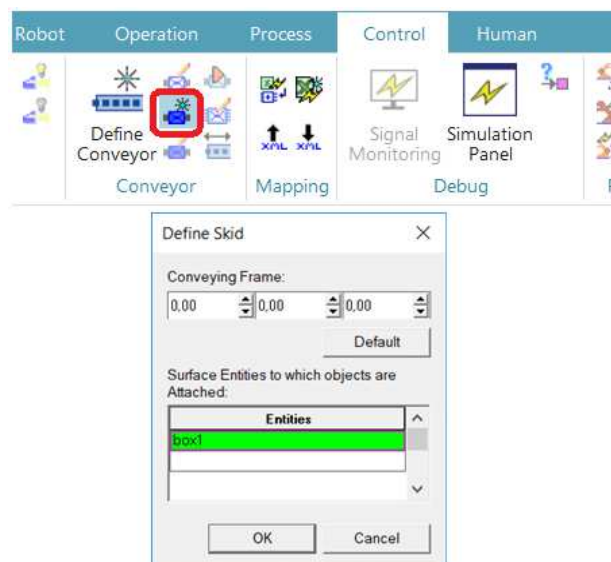
Obrázek 26: Definování vlastností dopravníku

Poslední částí, kterou tvoří dopravníkový systém, je paletka. Ta slouží k tomu, aby převážela produkt z lego kostek, jenž je v průběhu simulace stavěn. Paletka je vymodelována v prostředí TPS a je vytvořena jako *device*, do kterého je přidán vymodelovaný objekt. Modelování objektu bylo uskutečněno pomocí funkce *Solids* v záložce *Modeling* v sekci *Geometry*. Pro modelování byla zvolena funkce *Create a box* ve složce *Box Creation*. V okně *Create a box* byly zadány hodnoty paletky, jako jsou šířka, délka, výška, a byl napsán název objektu. Tento postup je zobrazen na obrázku 27.



Obrázek 27: Vytvoření objektu paletka

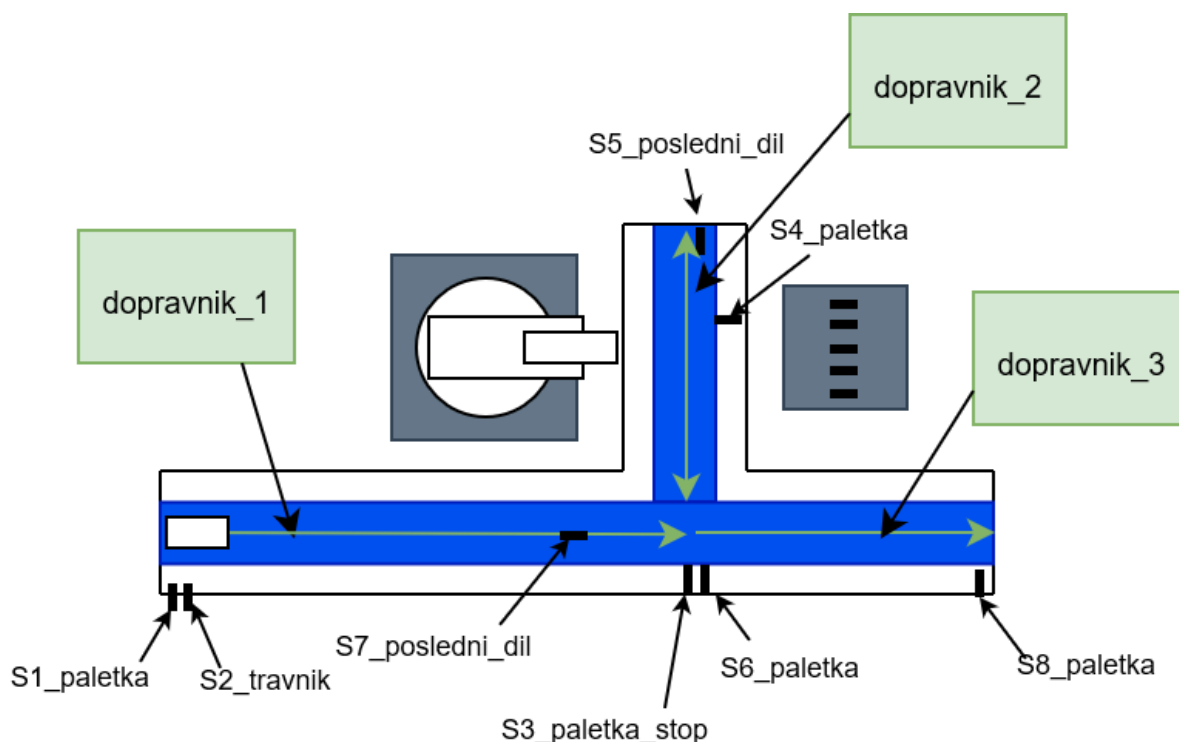
Po vytvoření paletky je potřeba ji definovat jako *Skid*, protože pokud tak nebude provedeno, dojde k tomu, že nebude možné, aby docházelo k přesouvání objektů z lego kostek nebo paletky samotné. Definování je provedeno stejně jako definování dopravníku v záložce *Control*, kde se klikne na ikonu *Define As Conceptual Skid*. V okně, které se otevře po kliknutí na ikonu, se přiřadí název objektu, který má být používán jako *Skid* v sekci *Entities*. Pokud je *Skid* tvořen více objekty, je potřeba, aby byly opět přidány do *Entities*. Takto vytvořená a definovaná paletka je použitelná na všech dopravnících vytvořených v simulaci. Obrázek definování paletky jako *Skid* je na obrázku 28.



Obrázek 28: Definování paletky

## 6.2 Soustava čidel pro řízení dopravníkového systému v simulaci

Systém, jenž má dopravovat z jednoho místa do druhého paletku s materiálem, je navržen pomocí tří úseček ve tvaru téčka, kde střed tvoří křižovatku, ve které jsou umístěny startovací a koncové body, do nichž se může paletka dostat. Každá z těchto úseček je definována jako dopravník, po kterém jezdí paletka, jež musí být definována jako *Skid*. Řízení dopravníkového systému je uskutečněno pomocí soustavy čidel, které udávají polohy paletky a materiálu, ty jsou pak v logice řízení využity k předávání informací o logických stavech. Celé schéma soustavy čidel je zobrazeno na obrázku 29.



Obrázek 29: Schéma rozmištnění čidel pro řízení dopravníku

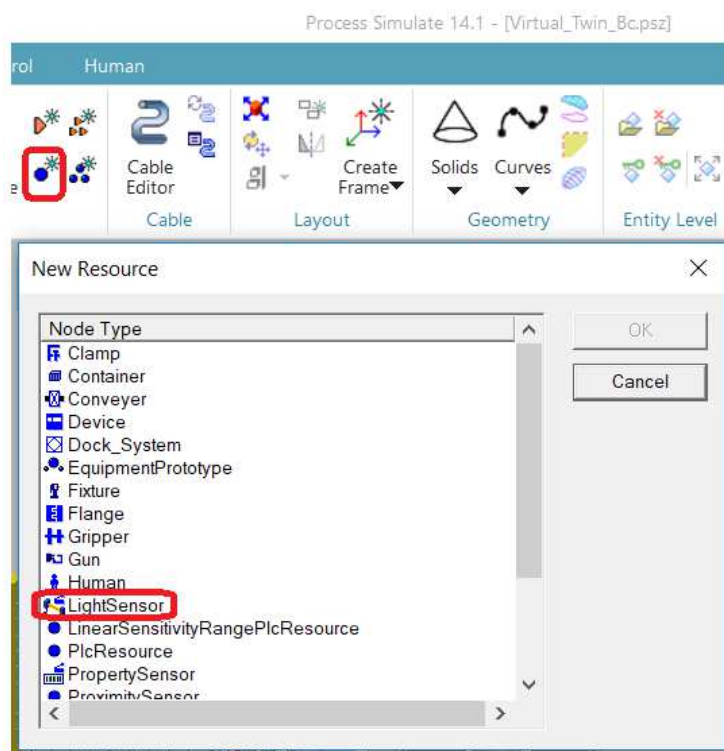
Tabulka 3: Seznam čidel pro řízení dopravníku

S1_paletka	Podmínka pro start dopravníku 1
S2_travník	Podmínka pro start dopravníku 1
S3_paletka_stop	Podmínka pro stop dopravníku 1 a start dopravníku 2
S4_paletka	Podmínka pro stop dopravníku 2
S5_posledni_dil	Podmínka pro změnu směru a startu dopravníku 2
S6_paletka	Podmínka pro start dopravníku 3
S7_posledni_dil	Podmínka pro start dopravníku 3
S8_paletka	Podmínka pro stop dopravníku 3

Čidla zobrazená a popsána na obrázku výše slouží k předávání informací o poloze paletky a stavu výrobku, který paletka převáží. Podle zjištěných hodnot je pak pomocí *Modules Viewer* vytvořen řídicí program, který spouští a zastavuje jednotlivé dopravníky.

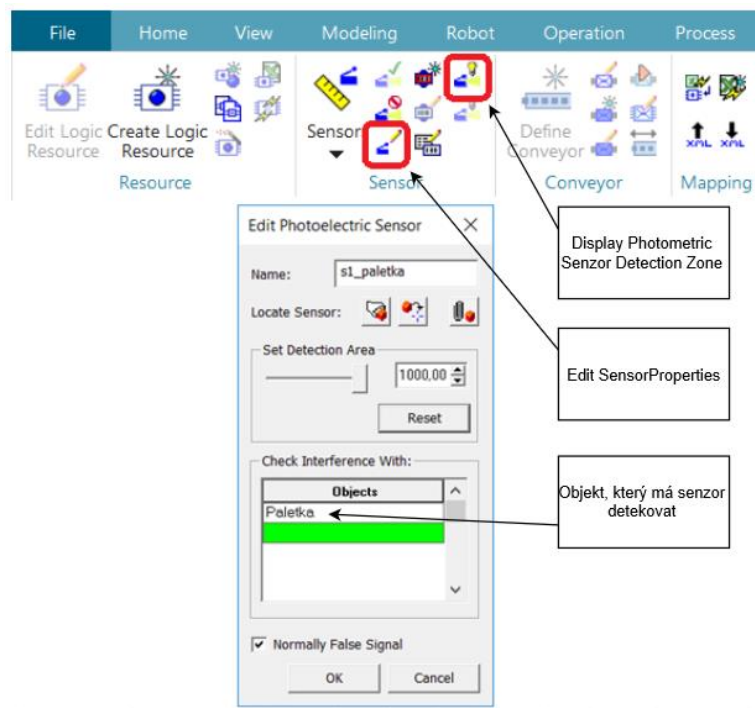
### 6.2.1 Návrh a vytvoření senzoru detekce

Senzory, které jsou v simulaci použity pro detekci materiálu nebo detekci paletky na dopravníku, jsou vytvořeny jako *LightSensor*, tedy světelný senzor, který vyzařuje paprsek. Návod, kde tento senzor najít, je na obrázku 30. Vytvoření jednoho senzoru se provede v záložce *Modeling* v sekci *Components*, kde je umístěna ikona *Create New Resource*, po otevření okna, kde se objeví seznam možných zařízení, je potřeba zadat zařízení *LightSensor*. Toto zařízení se pak objeví v *Object Tree*, kde je připraveno na to, aby se do něj přidal vymodelovaný objekt, jenž se modeluje stejně jako již zmíněná paletka v kapitole 5.1.



Obrázek 30: Vytvoření LightSensoru

U každého světelného senzoru je nastaven objekt, na který má čidlo reagovat. To je provedeno v záložce *Control* v sekci *Sensor*, ve funkci *Edit Sensor Properties* je nastaven objekt, popřípadě objekty, na něž má senzor reagovat. Aby bylo možno nastavit senzor na daný objekt, je zapotřebí použít funkci *Display Photometric Sensor Detection Zone*, jež umožní vytvoření paprsku, pomocí kterého pak lze nastavit senzor tak, aby snímal určité místo vybraného objektu. Celý postup nastavení senzoru na daný objekt je na obrázku 31.

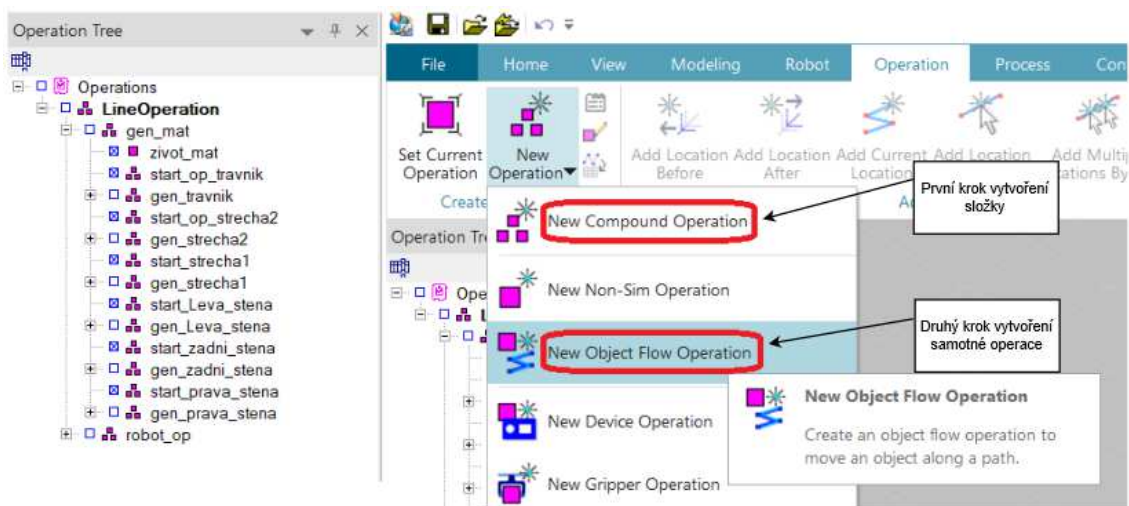


Obrázek 31: Nastavení objektu, který má být snímán

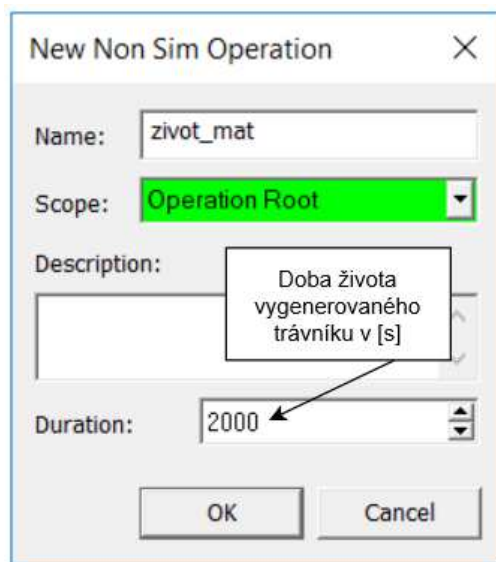
### 6.3 Operace pro generování materiálu

Simulace obsahuje celkem 6 operací pro generování materiálu, a to pro generování trávníku, levé stěny, pravé stěny, zadní stěny a dvou bloků střechy, ty jsou umístěny v *Operation Tree*. Operace jsou vytvořeny v záložce *Operation* v sekci *New Operation*, název této operace je *New Object Flow Operation*, kdy tuto operaci je nutno vložit do složky, jinak nebude simulace fungovat, tak jak by měla, složku je možno vytvořit v sekci *New Operation*, kde má název *New Compound Operation*. Postup, jak vytvořit složku operací a operaci samotnou, je možné vidět na obrázku 32.

Vytvořenou operaci pro generování je potřebné propojit s operací *Non-Sim Operation* s názvem *život\_mat*, protože by vygenerovaný objekt ihned zmizel. Propojení zabezpečí to, že nebude docházet k okamžitému mizení objektu, ale dojde k tomu, že předmět, který je generovaný, dostane život, ten určí to, kdy objekt zmizí. Vytvoření a nastavení *Non-Sim Operation* je možné vidět na obrázku 33.



Obrázek 32: Postup pro vytvoření operací

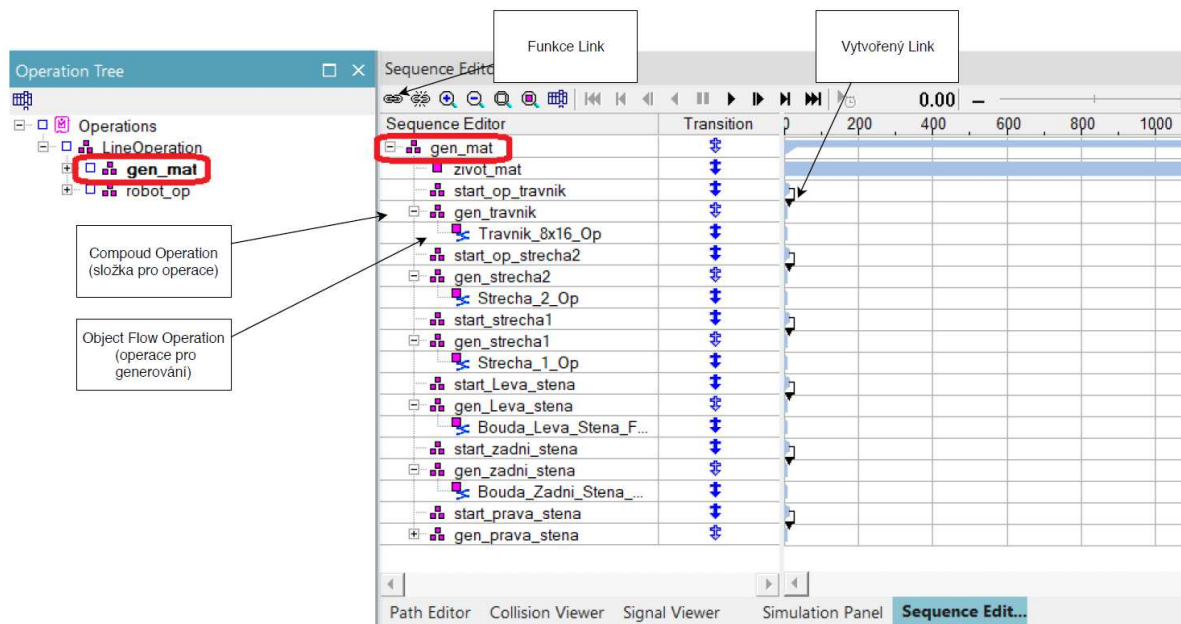


Obrázek 33: Vytvoření a nastavení doby života

### 6.3.1 Větvění operace

Všechny operace, které jsou obsaženy v demonstrační úloze, se po vytvoření automaticky umístí v *Operation Tree*. Celá složka obsahující všechny operace se přemístí do *Sequence Editoru* přetažením myši. Zde je pak možné spustit simulaci poté, co dojde k nastavení *Link* a *Transition*, kdy se pomocí těchto podmínek vytvoří posloupnost vykonávání operací. Jednotlivé funkce *Sequence Editoru* jsou zachyceny na obrázku 34.





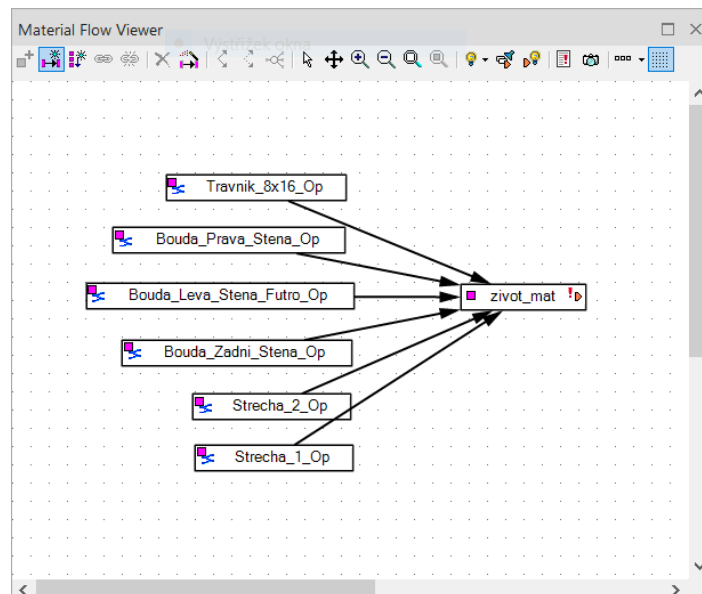
Obrázek 34: Větvení operací v Sequence Editoru

### 6.3.2 Tok materiálu

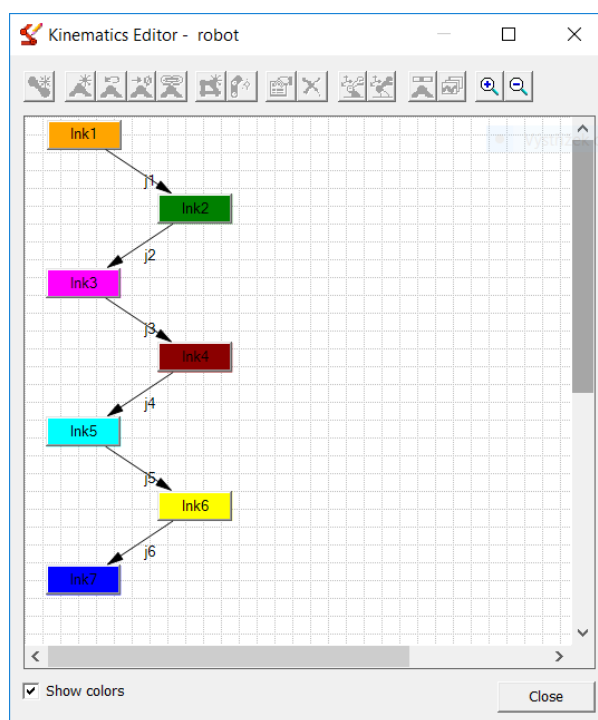
Aby mohlo docházet ke generování materiálu pro stavbu produktu z lego kostek, musí být vytvořeny příslušné operace pro generování a délku života materiálu a taky *Logic Resource*, které vyhodnocují, jestli je potřeba vygenerovat materiál na základě signálů ze senzorů. Ale také je potřeba nastavit *Materiál Flow Viewer* neboli tok materiálu. Vytvoření toku materiálu je provedeno přetažením myši operací pro generování a život materiálu z *Operation Tree* do okna *Materiál Flow Viewer*, kde je vytvořena závislost operací pro generování na délce života jednotlivých vygenerovaných částí pomocí linku (spojení). Vytvořený tok materiálu je zobrazený na obrázku 35.

## 6.4 Kinematika robota a uchopovacího nástroje

Samotný robot je pouze strojní model, ale jakmile je obohacen o kinematiku, tak ho lze rozpohybovat. Celá kinematika robota je vytvořena v *Kinematics Editor*, což lze vidět na obrázku níže (viz Obrázek 36). Takzvané *lnk 1, 2...*, což jsou části, které tvoří segmenty strojního modelu robota, jsou propojeny šipkami, jež jsou označeny *j1, j2 ...*, které tvoří spoje mezi jednotlivými částmi robota. Jinými slovy jsou to osy, ve kterých se robot pohybuje.



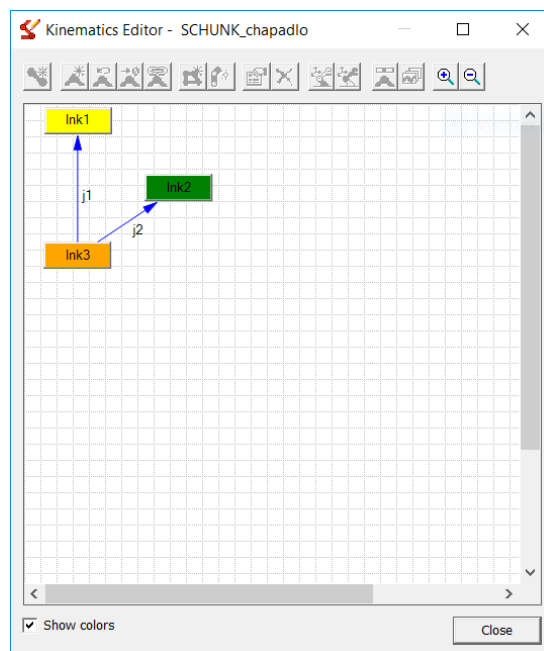
Obrázek 35: Materiál Flow Viewer



Obrázek 36: Kinematics Editor pro robota EPSON



Uchopovací nástroj je strojní model, jenž je tvořen dvěma částmi, a to chapadlem, které v reálu vykonává pohyb, a kleštinami, jež uchopují objekt. Aby bylo možno v simulaci s tímto nástrojem pracovat, je potřebné, stejně jako u robota, vytvořit kinematiku pro toto zařízení. Vytvořenou kinematiku pro chapadla můžeme vidět na obrázku níže. Celá hierarchie pohybu je velmi jednoduchá a je možno ji vidět na obrázku (viz Obrázek 37). Kinematika pohybu je postavena na tom, že zařízení má nějaký základ *Ink3*, k tomuto základu jsou připevněny dva prsty *Ink1* a *Ink2*. Tedy *j1* a *j2* tvoří osy, po kterých se prsty pohybují vůči základu *Ink3*, oddalují se, čili se otevírají nebo se přibližují, zavírají.



Obrázek 37: Kinematics Editor pro chapadla SCHUNK

## 6.5 Robotické operace Pick and Place

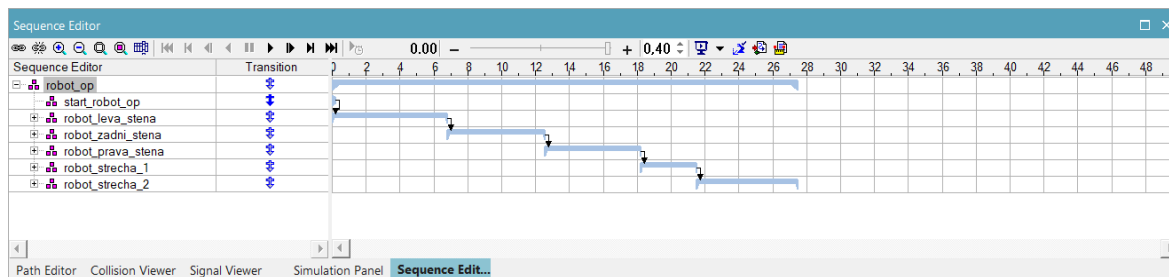
Simulace obsahuje celkem pět robotických operací *Pick and Place*, jejichž úkol je přemístit jednotlivé bloky z lego kostek z místa zrodu materiálu do určitého zvoleného místa, kdy dochází k tomu, že jednotlivé bloky jsou skládány postupně tak, aby docházelo k montáži produktu z lego kostek, a to boudy pro psa. Všechny robotické operace, které byly vytvořeny, mají v základu dva body trajektorie. Protože při testování docházelo k tomu, že vytvořená trajektorie robota procházela jinými objekty, byly přidány další body, které zabezpečují to, aby v simulaci nedocházelo ke kolizím s jinými předměty. Základní body operace mají názvy *pick* a *place*, zbývající body, které můžeme vidět na obrázku níže (viz obrázek 38), byly dodatečně vytvořeny. Jejich základní označení má název „*via*“, pokud je těchto bodů více, pak je součástí jejich označení číslo. Na obrázku níže jsou ještě vidět souřadnice jednotlivých bodů v prostoru a popřípadě změny úhlu jednotlivých os.

Paths & Locations	Attachm...	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	OLP Commands	Robot
robot_op								27.49		
start_robot_op								0.00		
robot_leva_stena								6.81		
robot_leva_stena								6.81		robot
via		-887.18	119.39	1150.00	0.00	0.00	0.00	1.97		
pick		-887.18	119.39	1096.47	0.00	0.00	0.00	0.73	# Destination SCHUNK	
via1		-887.18	119.39	1150.00	0.00	0.00	0.00	0.57		
via2		-695.80	43.00	1150.00	0.00	0.00	90.00	1.88		
place		-695.80	43.00	1090.50	0.00	0.00	90.00	0.91	# Release fr1 # Destin	
via3		-695.80	43.00	1150.00	0.00	0.00	90.00	0.75		
robot_zadni_stena								5.74		
robot_prava_stena								5.65		
robot_strecha_1								3.31		
robot_strecha_2								5.98		

Obrázek 38: Path Editor s nastavenými souřadnicemi robotických operací

### 6.5.1 Větvení toku robotických operací

Proto, aby řídicí program pro robota fungoval tak, aby bylo možné poskládat boudu pro psa, je potřeba v *Sequence Editoru*, odkud se robotické operace, které tvoří řídicí program, spouštějí, musí být vytvořena hierarchie vykonávání těchto operací, která zaručí, že operace se budou vykonávat sekvenčně, přesně tak, aby montáž dávala smysl a ve výsledku došlo k poskládání produktu z lego kostek. To se provede tím, že vytvořené operace se propojí pomocí takzvaných *Link* (spojení) stejně jako u generování materiálu. Celý *Sequence Editor* je znázorněn na obrázku 39.



Obrázek 39: Sequence Editor s nastavenými vazbami

## 6.6 Seznam signálů použitých v simulaci

V této podkapitole jsou uvedeny všechny signály, které simulace obsahuje. Jsou zde popsány jednotlivé signály a taky je u jednotlivých podkapitol uvedeno, k čemu daný soubor signálů slouží.

### 6.6.1 Signály pro dopravníkový systém

Tabulka 4: Dopravníkové signály

Signály	Popis
Dopravnik_1_Start	Spustí dopravnik_1 a dojde k pohybu paletky.
Dopravnik_1_Stop	Zastaví dopravnik_1 a tím také pohyb paletky.
Dopravnik_2_Start	Spustí dopravnik_2 a dojde k pohybu paletky.
Dopravnik_2_Stop	Zastaví dopravnik_2 a tím také pohyb paletky.
Dopravnik_2_ChangeDirection	Dojde ke změně směru dopravníku.
Dopravnik_3_Start	Spustí dopravnik_3 a dojde k pohybu paletky.
Dopravnik_3_Stop	Zastaví dopravnik_3 a tím také pohyb paletky.

Signály, které jsou vytvořeny k jednotlivým dopravníkům, jsou velice důležité, protože řídí chod celého dopravníkového systému, ten obsahuje tři druhy signálů, a to start, stop, *change direction* (změna směru). Pomocí těchto signálů můžeme určit, kde se zrovna nachází paletka, která se po dopravnících pohybuje.

### 6.6.2 Signály pro spuštění a ukončení generování materiálu z lego kostek

Tabulka 5: Signály pro ukončení generování materiálu

Signály	Popis
Travník_8x16_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.
Strecha_2_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.
Strecha_1_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.
Bouda_Leva_Stena_Futro_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.
Bouda_Zadni_Stena_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.
Bouda_Prava_Stena_Op_end	Signál podává informaci o ukončení generování.

Tabulka 6: Signály pro spuštění generování materiálu

Signály	Popis
Travník 8x16 Op start	Signál spouští generování trávníku.
Střecha 2 Op start	Signál spouští generování střechy2.
Střecha 1 Op start	Signál spouští generování střechy1.
Bouda Leva Stena Futro Op start	Signál spouští generování levé stěny.
Bouda Zadní Stena Op start	Signál spouští generování zadní stěny.
Bouda Prava Stena Op start	Signál spouští generování pravé stěny.

Součástí demonstrační úlohy jsou operace pro generování materiálu start a stop, tyto operace však nejsou využity, protože řídicí program je vytvořen v prostředí TPS a ten nepotřebuje s těmito signály pracovat. Signály jsou součástí pro možnost budoucího napojení na program řízený pomocí PLC.

### 6.6.3 Signály pro generování materiálu lego kostek pomocí detekce ze senzorů

Tabulka 7: Generování materiálu

Signály	Popis
Senzor_gen_leva_stena	Tento signál spouští generování levé stěny.
Senzor_gen_prava_stena	Tento signál spouští generování pravé stěny.
Senzor_gen_zadní_stena	Tento signál spouští generování zadní stěny.
Senzor_gen_střecha1	Tento signál spouští generování střechy1 stěny.
Senzor_gen_střecha2	Tento signál spouští generování střechy2 stěny.
S2_travník	Tento signál spouští generování lego základny.

Signály pro generování slouží k tomu, aby spouštěly operace pro generování. Pokud dojde k tomu, že objekt bude odebrán z místa, který snímá senzor, tak se stane to, že za pomoci jednotlivých logických bloků dojde k vyhodnocení stavu a k následnému vygenerování materiálu.

#### 6.6.4 Signály robotických operací

Tabulka 8: Robotické operace pro start

Signály	Popis
Robot_leva_stena_start	Signál, který spouští robotickou operaci pro montáž levé stěny.
Robot_prava_stena_start	Signál, který spouští robotickou operaci pro montáž pravé stěny.
Robot_zadni_stena_start	Signál, který spouští robotickou operaci pro montáž zadní stěny.
Robot_strecha_1_start	Signál, který spouští robotickou operaci pro montáž střechy1.
Robot_strecha_2_start	Signál, který spouští robotickou operaci pro montáž střechy2.

Tabulka 9: Robotické operace pro end

Signály	Popis
Robot_leva_stena_end	Signál, který ukončuje robotickou operaci pro montáž levé stěny.
Robot_prava_stena_end	Signál, který ukončuje robotickou operaci pro montáž pravé stěny.
Robot_zadni_stena_end	Signál, který ukončuje robotickou operaci pro montáž zadní stěny.
Robot_strecha_1_end	Signál, který ukončuje robotickou operaci pro montáž střechy1 stěny.
Robot_strecha_2_end	Signál, který ukončuje robotickou operaci pro montáž střechy2 stěny.

Tyto signály jsou obsaženy v simulaci, ale nejsou vůbec použity, protože řídicí program je vytvořen v TPS tak, že spuštění je zprostředkováno pomocí *Logic Resource*, *start\_robot*, kdy v tomto logickém bloku je spuštěna pouze první robotická operace a následně pomocí *Link* (spojení) v *Sequence Editor* je vytvořena posloupnost, jak se mají operace vykonávat jedna za druhou. Využití těchto signálů nastává tehdy, pokud by simulace byly řízeny z PLC.

#### 6.7 Návrh řízení pro dopravníky pomocí vývojového diagramu

Na obrázku je možné vidět, že po spuštění simulace musí být splněny dvě podmínky, aby došlo k tomu, že se *dopravník\_1* rozjede. V prostředí TPS je vše nastaveno tak, že pokud je simulace vynulována a spuštěna od úplného začátku, paletka je vždy na začátku prvního dopravníku. S tím se zároveň provede generování materiálu na paletku a dojde k splnění prvních dvou podmínek pro rozjezd *dopravníku\_1*. Stav ano u těchto dvou podmínek je získán z čidel *s1\_paletka* a *s2\_travník*, které jsou zviditelněny ve vývojovém diagramu červenou barvou.

Jakmile paletka dojde ke konci dopravníku, musí být splněná podmínka ze senzoru *s3\_paletka\_stop*, pokud tak není učiněno, dopravník jede dále.

Senzor pro zastavení *dopravniku\_1* slouží taky pro spuštění *dopravniku\_2*, v momentě, kdy je zastaven *dopravnik\_1*, je zároveň spuštěn následující dopravník. Zastavení *dopravniku\_2* je způsobeno splněním podmínky detekce paletky pomocí senzoru *s4\_paletka*. Poté, co dojde k poskládání produktu robotem, čidlo s názvem *s5\_posledni\_dil* zaznamená poslední díl, kterým robot ukončil montáž, a to je signál, kterým je splněna poslední podmínka, v tu chvíli dojde ke změně směru *dopravniku\_2* a poté k rozběhu tohoto dopravníku. Když paletka dojde do konce druhého dopravníku s hotovým výrobkem, tak je tento dopravník zastaven signály z čidel *s6\_paletka* a *s7\_posledni\_dil*, a jestliže jsou obě tyto podmínky splněny najednou, dojde k zastavení *dopravniku\_2*.

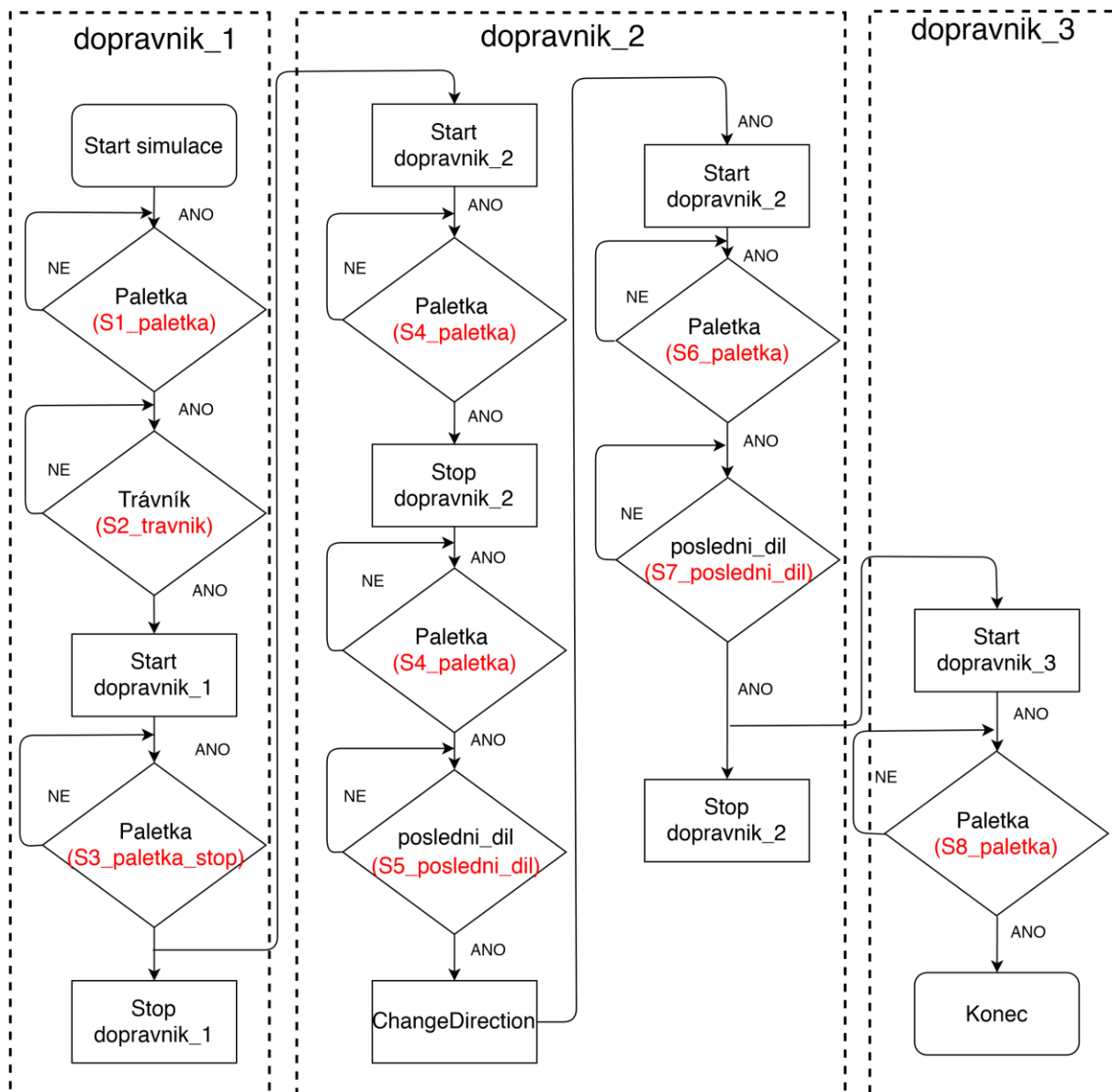
Na konci vývojového diagramu je *dopravnik\_3*, který tvoří nejmenší část řízení. Stejně jako mezi dopravníky 1 a 2 i mezi dopravníky 2 a 3 dojde k tomu, že při zastavení *dopravniku\_2* se zároveň spustí *dopravnik\_3*. K zastavení paletky na posledním dopravníku dojde díky podmínce ze senzoru *s8\_paletka*. Na obrázku 40 je znázorněný celý řídicí proces jednotlivých dopravníků.

## 6.8 Návrh řízení robota pomocí vývojového diagramu

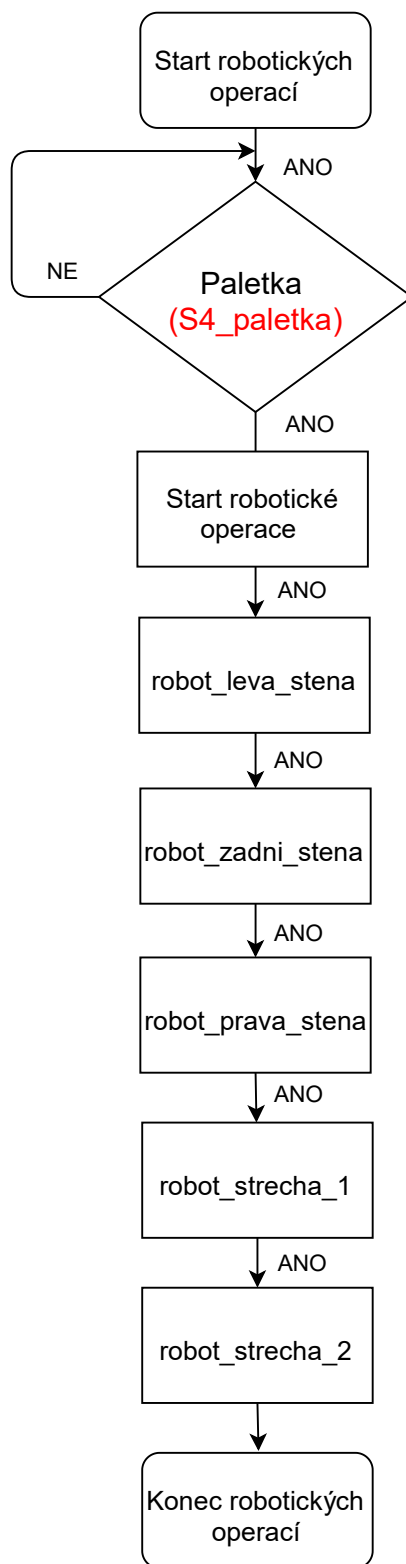
Vývojový diagram pro řízení robotických operací je velice jednoduchý díky tomu, že řízení bylo realizováno v TPS, proto je možné zřetěžit robotické operace sekvenčně tak, aby došlo k poskládání produktu. Řízení je tedy znázorněno pomocí diagramu níže. Logika tohoto řízení je taková, že pokud senzor *s4\_paletka* detekuje paletku, dojde k tomu, že je splněna podmínka a může být spuštěna první robotická operace, což je operace *robot\_leva\_stena*, když dojde k dokončení této operace, automaticky se začne vykonávat další v pořadí a tak to probíhá až do konce, kdy je hotov celý produkt, který je zakončen operací *robot\_strecha\_2*. Sekvenční vykonávání jednotlivých operací znázorňuje obrázek 41.

## 6.9 Návrh řízení generování materiálu pomocí vývojového diagramu

Diagram, který je použit v této části, zobrazuje logiku řízení generování materiálu pro stavbu produktu. Objekty, které se generují v průběhu simulace, jsou bloky z lego kostek, jež slouží k tomu, že je z nich postavena bouda pro psa. Celý návrh vychází z toho, že v simulaci jsou vytvořena čidla, která snímají objekty z lego kostek. Poté, co dojde k odebrání bloku z lego kostek robotem, čidlo zaznamená, že předmět není snímán tak, že dojde k tomu, že na vstupu logického bloku bude log.0 a to bude vyhodnoceno na výstupu logického bloku zavoláním příslušné operace pro generování. Grafické znázornění vývojového diagramu je možné pozorovat na obrázku 42, kde je popsán algoritmus pro generování levé stěny, stejným systémem je vytvořeno generování ostatních objektů.

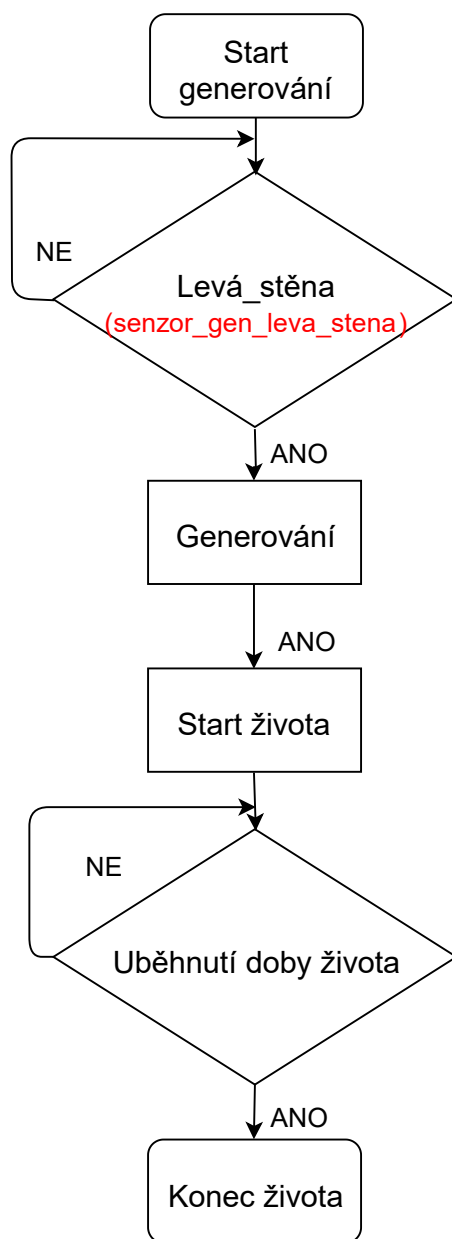


Obrázek 40: Vývojový diagram pro řízení jednotlivých dopravníků



Obrázek 41: Vývojový diagram pro řízení robotických operací

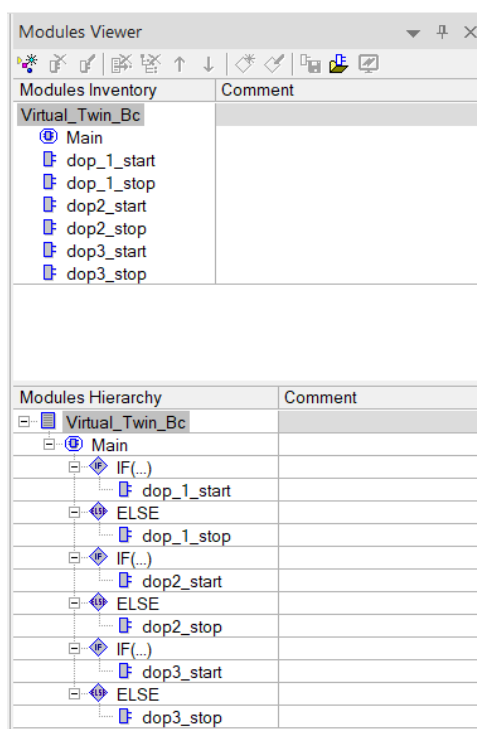




Obrázek 42: Vývojový diagram pro řízení generování materiálu

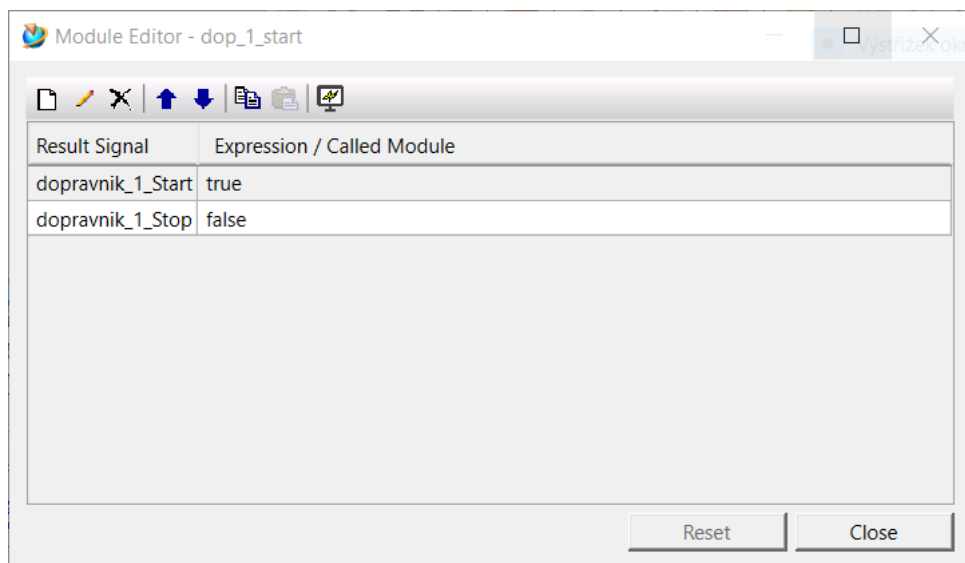
## 6.10 Modules Viewer

Tento nástroj v prostředí TPS všeobecně slouží k vytváření řídicích algoritmů. V demonstrační úloze, jíž se zabývá tato bakalářská práce, je *Modules Viwer* použit pro řízení dopravníkového systému. Umožňuje spouštění a zastavování jednotlivých dopravníků podle zjištěných logických stavů naměřených pomocí senzorů. Řídicí struktura je řízena pomocí takzvaných *Module Object*, které jsou vytvořeny a umístěny v *Modules Invertory*. *Module Object* jsou vlastně objekty, jež obsahují řídicí signály pro dopravník, jako je start a stop. Tyto moduly jsou pak vloženy do *Modules Hierarchy*, kde je vytvořena stavová struktura pomocí funkcí *IF* a *ELSE*.



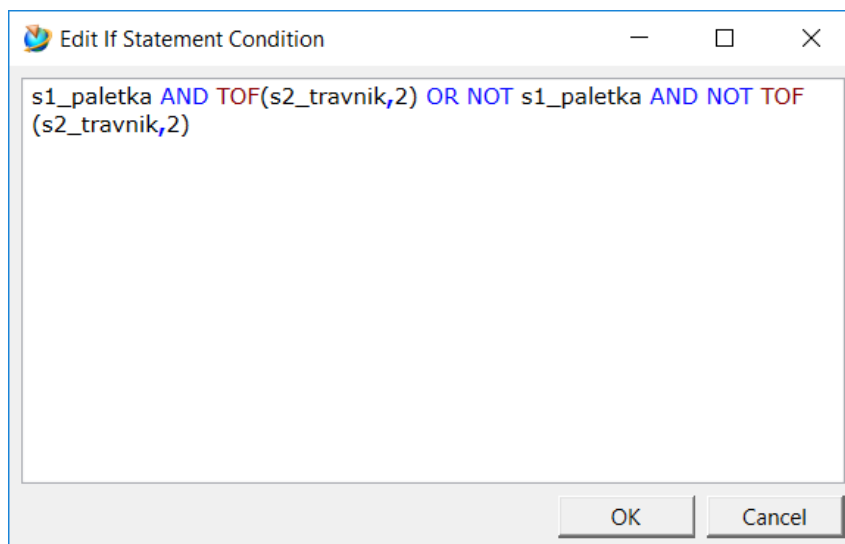
Obrázek 43: Modules Viewer pro jednotlivé dopravníky

*Modul Object*, který slouží pro spouštění *dopravniku\_1*, obsahuje dva řídicí signály pro *dopravnik\_1*, a to *dopravnik\_1\_Start*, který má nastavený logický stav true (log.1), a pak *dopravnik\_1\_Stop*, ten je nastaven jako false (log.0). Tímto nastavením je určeno, jaké hodnoty mají mít řídicí signály, pokud dojde ke splnění podmínek vytvořených v *Modules Hierarchy*. S celou strukturou nástroje *Modules Viewer* je možno se seznámit na obrázku 43.



Obrázek 44: Modul pro dopravnik\_1

V první podmínce nazvané *IF* v *Module Hierarchy* je možno po rozkliknutí vidět tělo funkce, které je znázorněno na obrázku dole. Podmínka *IF* obsahuje kód, jenž říká, že pokud nastanou stavy, jež jsou zjištěny pomocí senzorů, dojde k tomu, že se vykoná *Modules Object*. Na obrázku 44 je zobrazený modul pro *dopravnik\_1*, který obsahuje signál pro rozjezd tohoto dopravníku.



Obrázek 45: Podmínka pro rozjezd dopravniku\_1

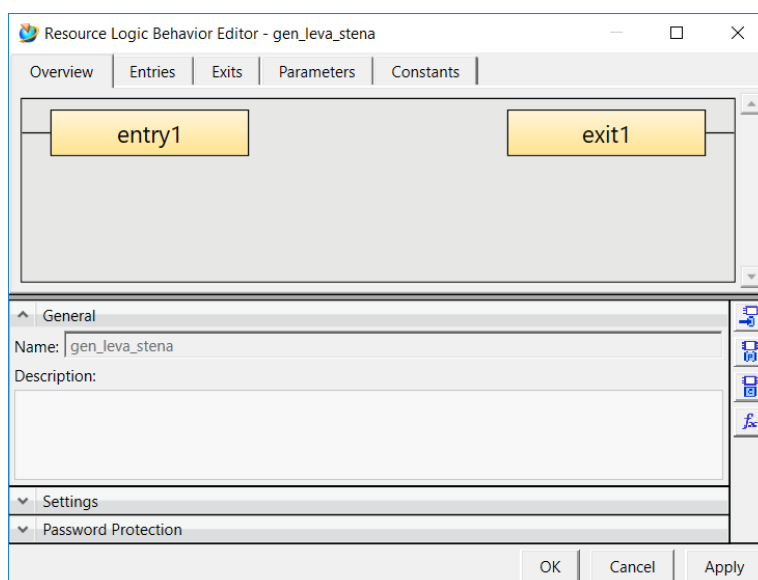
Rozběh *dopravniku\_1* se realizuje tehdy, když je na dopravníku detekována paletka a vzápětí s dvousekundovým zpožděním travník. Zbývající část kódu pak ošetřuje to, aby po vygenerování travníku nedocházelo k jeho zastavení, což je způsobeno tím, že senzory

přestanou snímat logickou jedničku, a proto musí být v kódu implementace toho, aby obě proměnné byly v logické nule. A nedocházelo k zastavení dopravníku, jakmile senzory přestanou snímat objekty. Celý kód lze pozorovat na obrázku výše (viz obrázek 45).

## 6.11 Logic Resource pro řízení a generování materiálu

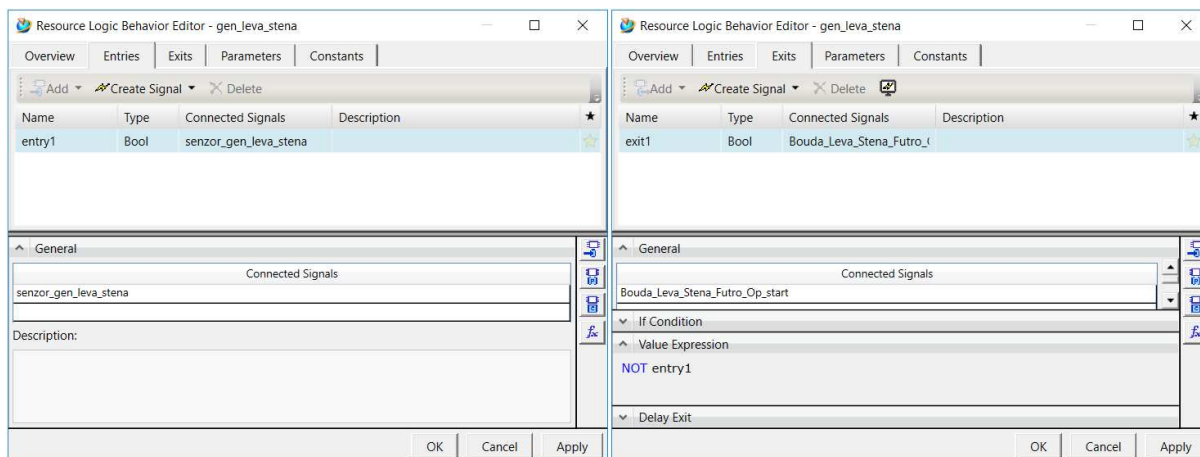
*Logic Resource* nebo taky logický blok je stejně jako *Modules Viewer* nástroj pro vytváření řídicího programu. V této demonstrační úloze byly vytvořeny logické bloky pro generování materiálu a změny směru *dopravníku\_2*, spouštění robotické operace, která následně spouští další operace.

### 6.11.1 Logický blok pro generování



Obrázek 46: Logický blok generování materiálu

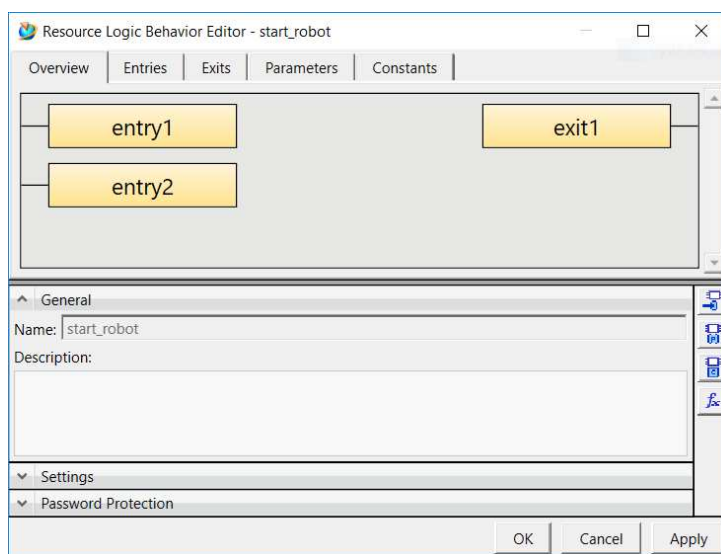
Blok pro generování levé stěny boudy pro psa je tvořen jedním vstupním a jedním výstupním signálem. Vstupní signál je informace, která přichází ze senzoru, jenž má snímat vygenerovaný objekt v logickém bloku, tento signál je tedy *entry1* (vstup). Pokud na vstupu bude zaznamenána log.0, tak na *exit1* (výstup) bude zavolán signál pro generování materiálu. Na obrázku 46, který je umístěn výše, je možné pozorovat obsah logického bloku.



Obrázek 47: Nastavení logického bloku pro generování

V záložce *Entries* na obrázku 47 (viz výše) je možné vidět, že v oknu *Value Expression* je napsáno *NOT entry1*. Tato část tedy říká, že pokud bude vstup negován, tedy že bude v log.0, bude na výstup poslán příslušný signál.

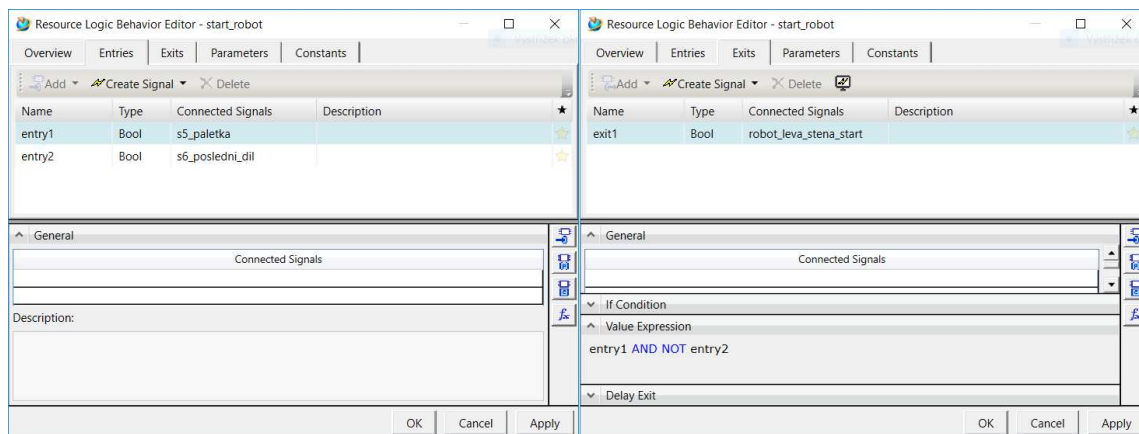
### 6.11.2 Logický blok pro spuštění robotické operace



Obrázek 48: Logický blok pro start robotických operací

Logický blok pro volání robotické operace pro stavbu produktu z lego kostek je navržen tak, že je tvořen dvěma vstupními signály a jedním výstupním signálem s názvem *robot\_leva\_stena\_start*. Tento signál pak spouští operaci se stejným názvem. Díky tomu, že

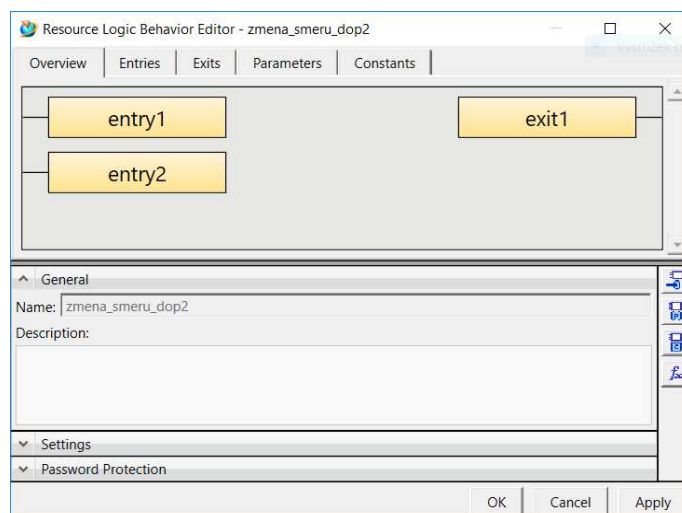
tento signál je spojen v *Sequence Editoru* vytvořením napojení na další operace, dochází k tomu, že po skončení operace vyvolané blokem dojde ke spuštění operace, která následuje po ní. Na obrázku 48 je možné vidět vstupy a výstupy logického bloku pro spuštění robotických operací.



Obrázek 49: Nastavení logického bloku pro start robotických operací

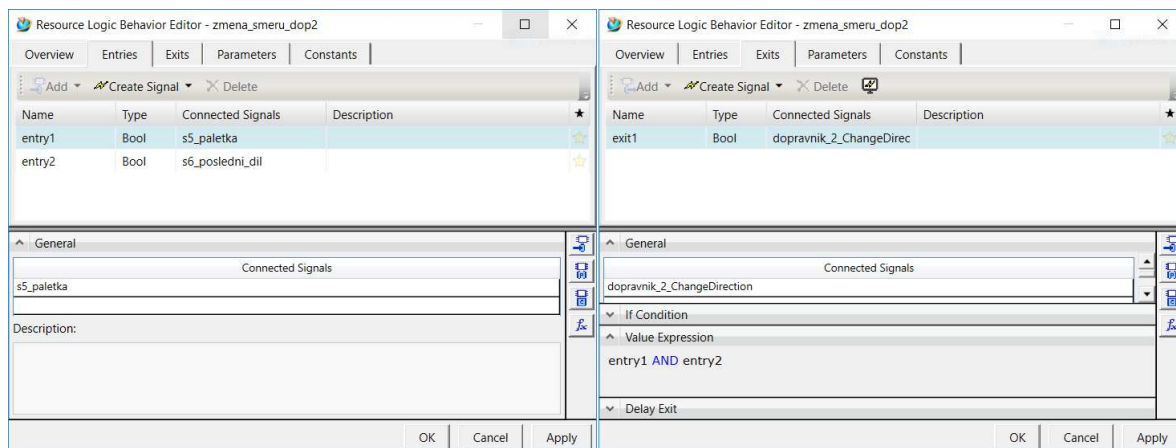
Vstupní signály, které dávají podnět k tomu, aby došlo na výstupu k vygenerování výstupního signálu, jsou *s5\_paletka* a *s6\_posledni\_dil*. Na obrázku 49 (viz výše) lze vidět, že v záložce *Exits* je napsána podmínka ve *Value Expression*, která říká, za jakých podmínek je výstup vykonán.

### 6.11.3 Logický blok pro změnu směru dopravníku\_2



Obrázek 50: Logický blok pro změnu směru dopravníku\_2

Logický blok pro změnu směru *dopravniku\_2* je vytvořen ze stejných vstupních signálů jako logický blok pro spuštění robotické operace v podkapitole 5.8.2, tedy signálem *s5\_paletka* a *s6\_posledni\_dil*. Výstupní signál pak má název *dopravnik\_2\_ChangeDirection*. Na obrázku 50 vidíme, že logický blok je tvořen dvěma vstupy a jedním výstupem.



Obrázek 51: Nastavení logického bloku pro změnu směru dopravniku\_2

Rozdíl proti logickému bloku pro robotickou operaci je v tom, že na výstupu v záložce *Exits* v okně *Value Expression* je podmínka, ve které je umístěna pouze funkce *AND*, která říká, že pokud budou obě podmínky splněny, tak dojde k vygenerování výstupu logického bloku. Na obrázku 51 je možné vidět podmínky, podle kterých se výstup logického bloku vykoná.

## 7 Provedení testu funkčnosti digitální úlohy pomocí simulace v TPS

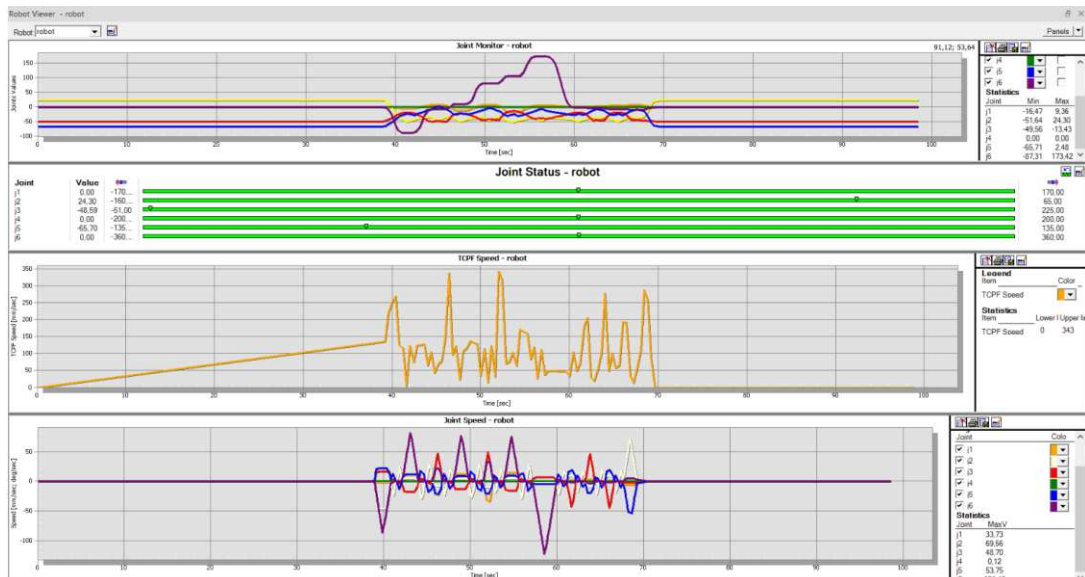
Provedení testu funkčnosti je realizováno pomocí *Robot Viewer*, tato funkce umožňuje znázornění vlastností robota nebo nějakého jiného mechanického zařízení, jako jsou chapadla. *Robot Viewer* obsahuje několik grafů, jež v závislosti na čase znázorňují změny, které se na robotickém zařízení dějí v průběhu montáže.

Další možnosti, jak kontrolovat robota v běhu simulace, nabízí *Simulation Monitor*, tento nástroj posílá zprávy o jednotlivých dějích, jako jsou např. zahajování operací, ukončování operací nebo informace, v jaké fázi se operace nachází.

Těmito nástroji se dá kontrolovat a ověřovat kinematika jakéhokoliv mechanického zařízení v prostředí simulace v TPS.

### 7.1 Robot Viewer

Simulační nástroj *Robot Viewer* obsahuje 4 druhy grafů, které vyhodnocují funkčnost demonstrační úlohy. Grafy, které obsahuje tento nástroj, jsou *Joint Monitor*, *Joint Status*, *TCPF Speed*, *Joint Speed*. Každý z grafů znázorňuje určité změny, které se dějí na robotickém rameni v průběhu simulace od začátku až do konce. Jakmile začne simulace, dochází ke změnám, jakmile robot přestane vykonávat pohyb, hodnoty jednotlivých kloubů, které znázorňuje *Joint Monitor*, se ustálí, stejně tak dojde k ustálení hodnot, jež znázorňují zbylé dva grafy pro rychlosti. V průběhu simulace je možné tyto změny pozorovat, tato oblast je koncentrována na střed jednotlivých grafů (viz obrázek 52).



Obrázek 52: Robot Viewer



- Joint Monitor (monitor kloubů)

Tento graf zobrazuje jednotlivé klouby v kartézských souřadnicích. Jeho cílem je monitoring hodnot kloubů během simulace. Generuje a graficky znázorňuje hodnoty ve všech časových bodech simulace. Každý bod kloubu je odlišen jinou barvou, v oblasti legendy je možné odstranit z grafu kloub, který z nějakého důvodu není potřeba monitorovat. Další možností je změnit barvu, která charakterizuje určitý kloub, a vyznačit horní a dolní mez pomocí čárkované čáry, to vše se nastavuje v oblasti legendy. Oblast legendy je pak vybavena statistickou oblastí, která udržuje data o maximech a minimech jednotlivých kloubů v grafu.[ 22]

- Joint Status (stav kloubů)

Zobrazuje aktuální stav jednotlivých kloubů vybraného robota v čase od minimální až po maximální hodnotu v daném okamžiku. Konce rozsahu kloubů robota jsou označeny jako pracovní limity a jsou označeny růžovou barvou. Pokud se kloub bude blížit hornímu nebo spodnímu limitu, tak hodnota daného kloubu, která je na obrázku výše pojmenována jako *Value*, bude přebarvena na růžovou. Pokud posuvník, který se pohybuje po úsečce a který reprezentuje spoj, je v zelené části přímky, tak je ve standardní pracovní oblasti. [23]

- TCPF Speed (rychlost TCPF)

Panel TCPF Speed obsahuje graf rychlosti robota. TCPF určuje rychlost robota při jeho cestě z aktuální polohy do jeho definované polohy. Všechny klouby robota začínají každý pohyb společně a končí dohromady. [24]

- Joint Speed (rychlost kloubů)

Tento graf zobrazuje rychlosti jednotlivých kloubů, naskýtá se ale i možnost zobrazovat zrychlení, pokud je nastaveno v kolonce *Mode: Speed & Acceleration*. V levé liště se nachází varianta zaškrtnout všechny osy, které je potřeba zobrazit. Dalšími informacemi, které se zobrazují, jsou maximální a minimální hodnoty rychlostí jednotlivých kloubů. Stejně jako u všech ostatních grafů existuje eventuality si jednotlivé křivky označit podle sebe. V grafickém faktoru je pak možnost vybrat si rychlost, kterou chcete zobrazit. [25]

## 7.2 Simulation Monitor

Při spouštění simulace, ať už robotické, nebo lidské, lze pomocí programu *Simulation Monitor* zobrazit zprávy, které se týkají každého lidského modelu a robota obsaženého v simulaci. Všechny zprávy se zobrazují v reálném čase. K posílání zpráv dojde po stisknutí ikonky *Simulation Connected*, tedy pokud již tato ikona není aktivována. V záložce *Main* (hlavní) jsou zobrazovány všechny zprávy, které mají v kolonce *Message* popis, o jaké zprávě se jedná. Celá

hierarchie zpráv podle závažnosti se dělí do tří skupin. [26] Na obrázku níže (viz obrázek 53) je možno vidět zprávy, které obsahují informaci o tom, co se děje s robotickým ramenem.

### **Show program messages** (Zobrazit simulační zprávy)

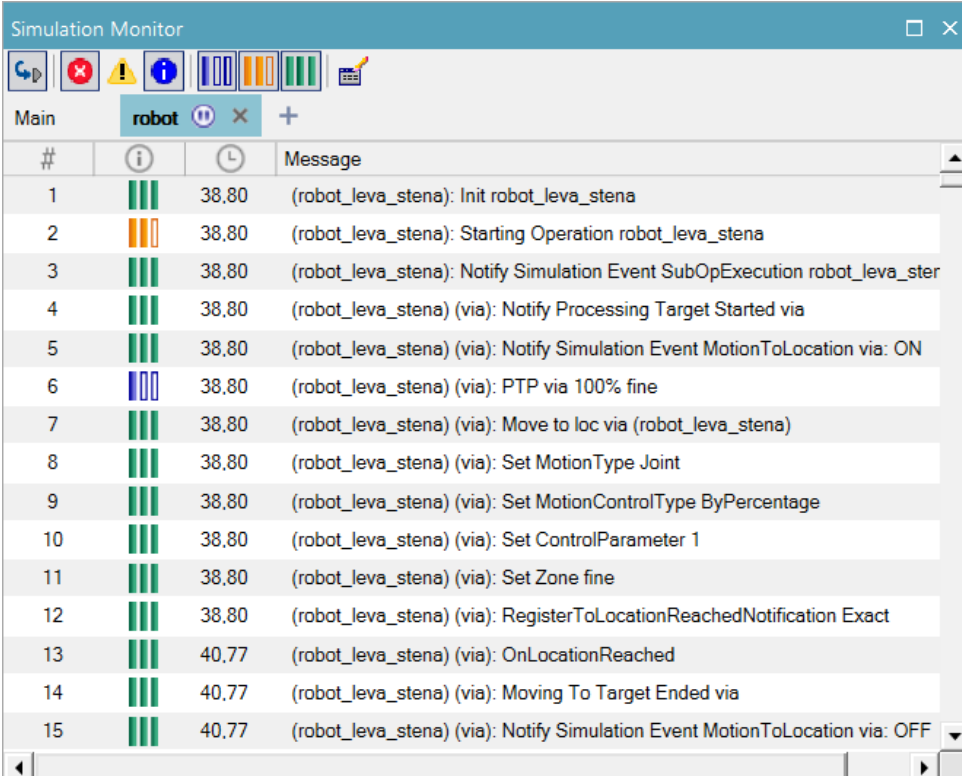
Zobrazuje instrukce robotů, jako jsou příkazy pohybu a příkazy OLP. [26]
















### **Show simulation messages** (Zobrazit simulační zprávy)

Zobrazuje detaily simulace instrukcí robota, jako je vyhodnocení hodnoty signálu a přizpůsobené linie OLP/pohybu. Tuto možnost můžete aktivovat pouze v případě, že je aktivní možnost Zobrazit zprávy programu. [26]

### **Show trace messages** (Zobrazit zprávy trasování)

Zobrazuje informace o trasování týkající se instrukcí robota pro účely ladění. Tuto možnost můžete aktivovat pouze v případě, že jsou aktivní jak *Show program messages*, tak *Show simulation messages*. [26]



#			Message
1		38,80	(robot_leva_stena): Init robot_leva_stena
2		38,80	(robot_leva_stena): Starting Operation robot_leva_stena
3		38,80	(robot_leva_stena): Notify Simulation Event SubOpExecution robot_leva_ster
4		38,80	(robot_leva_stena) (via): Notify Processing Target Started via
5		38,80	(robot_leva_stena) (via): Notify Simulation Event MotionToLocation via: ON
6		38,80	(robot_leva_stena) (via): PTP via 100% fine
7		38,80	(robot_leva_stena) (via): Move to loc via (robot_leva_stena)
8		38,80	(robot_leva_stena) (via): Set MotionType Joint
9		38,80	(robot_leva_stena) (via): Set MotionControlType ByPercentage
10		38,80	(robot_leva_stena) (via): Set ControlParameter 1
11		38,80	(robot_leva_stena) (via): Set Zone fine
12		38,80	(robot_leva_stena) (via): RegisterToLocationReachedNotification Exact
13		40,77	(robot_leva_stena) (via): OnLocationReached
14		40,77	(robot_leva_stena) (via): Moving To Target Ended via
15		40,77	(robot_leva_stena) (via): Notify Simulation Event MotionToLocation via: OFF

Obrázek 53: Přehled zpráv v Simulation Monit

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést analýzu trhu softwarových nástrojů pro návrh digitálního modelu zařízení a vybrat si jeden z těchto programů a realizovat v něm definovanou úlohu. Úloha, která byla vytvořena, splňuje všechny body zadání, a to realizaci konstrukční části s popisem komponent, realizaci virtuální části, jejímž cílem je simulace procesu výroby definovaného produktu, i ověření funkčnosti systému pomocí testu digitálního dvojčete.

U prvního bodu zadání bylo zjištěno, že u všech z analyzovaných platforem díky dostupným publikacím o těchto nástrojích je možné říci, že každý z těchto nástrojů může být použit k návrhu digitálního dvojčete. Platforma VISUAL COMPONENT disponuje obří a asi zcela největší knihovnou robotických modelů. CIROS Studio nabízí 30 připravených simulací, v nichž je možno lehce vytvářet poruchové stavy pro edukativní účely. TPS poskytuje možnosti vytvářet výukové simulace pro virtuální realitu, kdy si člověk nasadí brýle virtuální reality a může se pomocí toho školit. Reálné poznatky, které byly vyzkoušeny v jednotlivých platformách, jsou následující: Prostředí VC obsahuje, jak již bylo výše zmíněno, obrovské množství robotických knihoven, kromě toho má k dispozici velké množství připravených simulací. Benefitem, který nenabízí ani platforma CIROS Studio, ani TPS, je funkce Drawing. 3D strojní model, jenž je standardním vyobrazením simulace, lze přeměnit na výkres pomocí funkce Drawing, kdy je možné si vybrat, z jakého pohledu chceme výkres vygenerovat, a následně na něm můžeme provádět změny, jako je např. kótování. U platformy CIROS Studio toho nemohlo být moc zjištěno, neboť ke stažení je pouze verze programu, jenž je prost jakýchkoliv funkcí. Jediné, co program umožňuje, je spouštět načtené simulace z knihovny simulací. Zato v programu TPS byla realizována celá bakalářská práce a bylo odzkoušeno vše, co celý program umí. Při definování demonstrační úlohy bylo vycházeno z konceptu Smart Factory, kdy první robotické pracoviště sloužilo jako předloha pro tuto úlohu. Takže z tohoto důvodu koncept demonstrační úlohy obsahuje dopravník, který má tvar „T“, a jednu robotickou buňku s podstavou a stolek na materiál. Produkt z kostek byl rovněž vybrán s ohledem na projekt Smart Factory.

V návrhu strojního modelu úlohy byly použity knihovny hliníkových profilů, které byly staženy ze stránky grabcad.com, odkud byla rovněž využita knihovna modelů dopravníkového stolu. Stažený model stolu bylo potřeba upravit, protože na povrchu dopravníkového pásu byly předměty, které bránily tomu, aby po něm mohla jezdit paletka s materiálem. Objekty, jako je podstava robota a stůl s materiálem, byly sestaveny z hliníkových profilů a z dalších částí, které byly vlastnoručně vymodelovány. Na oba tyto objekty byly použity hliníkové profily o rozměrech 1000, 500, 250 mm, přičemž poslední nejkratší délka je základní, která byla stažena ze stránek grabcad.com. V úloze byly vlastnoručně vymodelovány objekty jako zábrana a podstava pro dopravníkové stoly a upínací kleštiny pro chapadla. Hlavní částí demonstrační úlohy, a to robot a chapadla, byly převzaty z VUT a ze stránek SCHUNK. U robota nebyly prováděny žádné změny, co se týče jeho parametrů. U chapadel byla vytvořena kinematika a vymodelovány kleštiny, které se na toto zařízení připevnil.

Při vytváření simulace výroby produktu z lego kostek bylo potřeba si vymyslet logiku řízení, jež je ilustrována pomocí diagramů v podkapitolách 6.7, 6.8, 6.9. Řídící program se skládá z Logic Resource a Modules Object. Pomocí těchto nástrojů je ovládán dopravníkový

system, jsou spouštěny robotické operace a spouští se generování materiálu. Simulaci tvoří dva druhy objektů, a to Device a PartPrototype, kdy Device je normální objekt a PartPrototype jsou objekty, které je potřeba generovat, a to jsou bloky lego kostek. Druhy operací, které jsou obsaženy v simulaci, jsou Non-Sim Operation, Object Flow Operation, Pick and Place. První operace slouží k nastavení života generovaného materiálu, druhá pak ke generování materiálu a třetí je robotická, jež má za úkol přemístit materiál z jednoho bodu do druhého. Největší trápení při nastavování operací bylo zaznamenáno s robotickými operacemi Pick and Place. Obtížné nebylo jen nastavení správného uchopení bloku z lego kostek. Stávalo se, že robot objekt uchopil za spodní část, ale rameno bylo vně stolu s materiálem. Také chvíli trvalo, než byly nalezeny správné souřadnice bodu, kde měl být blok kostek položen.

Test digitálního dvojčete je realizován pomocí nástrojů, které jsou součástí TPS, a to Robot Viewer a Simulation Monitor, kdy je v běhu simulace prováděn monitoring robota tak, že jsou zobrazovány hodnoty o rychlostech jeho jednotlivých kloubů, jejich úhlová vychýlení, celková rychlost a jiné informace o jednotlivých krocích, které robotická buňka vykonala.

Digitalizace průmyslu je velice složitá a komplexní záležitost, jsem proto rád, že jsem se mohl naučit vytvářet digitální model výrobního stroje, protože tato oblast do budoucna skýtá velký potenciál.

## Literatura

- [1] Využití digitálního dvojčete a digitálního vlákna k vylepšení produktů a výrobních procesů: Digitální dvojče. *Www.systemonline.cz* [online]. Wisconsin, Rockwell Automation Headquarters: Rockwell Automation [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/vyuziti-digitalniho-dvojce-a-digitalniho-vlakna-k-vylepseni-produktu-a-vyrobnich-procesu-z.htm>
- [2] Digitální továrna jako strategický nástroj pro plánování výroby: Digitalizace jako základní provazující element. *Www.mmspektrum.com* [online]. Plzeň: ZČU v Plzni, Fakulta strojní, katedra průmyslového inženýrství a managementu [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalni-tovarna-jako-strategicky-nastroj-pro-planovani-vyroby.html>
- [3] Digitální továrna jako strategický nástroj pro plánování výroby: Digitální továrna. *Www.mmspektrum.com* [online]. Plzeň: ZČU v Plzni, Fakulta strojní, katedra průmyslového inženýrství a managementu [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalni-tovarna-jako-strategicky-nastroj-pro-planovani-vyroby.html>
- [4] Digitální dvojče zrychlí vaši výrobu. *Www.technickytydenik.cz* [online]. TECHNICKÝ PORTÁL.cz, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/digitalni-dvojce-zrychli-vasi-vyrobu\\_45094.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/digitalni-dvojce-zrychli-vasi-vyrobu_45094.html)
- [5] Digitální dvojče zrychlí vaši výrobu: Z pohledu výrobce stroje. *Www.technickytydenik.cz* [online]. TECHNICKÝ PORTÁL.cz, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/digitalni-dvojce-zrychli-vasi-vyrobu\\_45094.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/digitalni-dvojce-zrychli-vasi-vyrobu_45094.html)
- [6] Automatizovaný sběr dat přímo z výroby. *Www.systemonline.cz* [online]. Brno: IT Systems [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/automatizovany-sber-dat-primo-z-vyroby.htm>
- [7] Velká data a jejich efektivní využití v inteligentní výrobě a logistice. *Www.anasoft.com* [online]. Česká Lípa: ANASOFT, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.anasoft.com/emans/cz/home/Novinky-blog/Blog/velka-data-v-prumyslu>
- [8] Jak na agilní vnitropodnikové zásobování – Intralogistika 4.0. *Www.anasoft.com* [online]. Česká Lípa: ANASOFT, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:

<https://www.anasoft.com/emans/cz/home/Novinky-blog/Blog/Jak-na-agilni-vnitropodnikove-zasobovani>

[9] Plant Simulation. *Www.axiomtech.cz* [online]. Zlín: AXIOM TECH [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-tecnomatix-plant-simulation>

[10] Visual Components [online]. San Francisco, Kalifornie, USA: wikipedia.org, 2015 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_Components](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Components)

[11] Visual Components. In: SoliCAD [online]. Benátky nad Jizerou: solicad.com [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <http://solicad.com/h/visual-components>

[12] Visual Components: Proč Visual Components? [online]. Benátky nad Jizerou: SoliCAD, s.r.o [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://solicad.com/c/visual-components-popis>

[13] Robotics Library for Visual Components - DigiMetrix GmbH [online]. Texas, Austin, USA: ni.com [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: [sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/211791](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/211791)

[14] Visual Components - robotická simulace [online]. Benátky nad Jizerou: SoliCAD [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://solicad.com/c/visual-components-robotizace>

[15] CIROS Studio. Verosim-solutions.com [online]. Dortmund: verosim-solutions.com [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <http://www.verosim-solutions.com/en/solutions/ciros-studio/>

[16] *Tecnomatix #1: Co je digitální továrna?* [online]. Brno: konstrukter.cz, 2012 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/tecnomatix-1-co-je-digitalni-tovarna/>

[17] Xsens MVN Analyze. [www.xsens.com](http://www.xsens.com) [online]. ENSCHEDE: [www.xsens.com](http://www.xsens.com) [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.xsens.com/products/xsens-mvn-analyze/>

[18] Process Simulate: Process Simulate Virtual Reality. *SIEMENS* [online]. Mnichov [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix\\_eMS/#uid:index\\_xi\\_d1015765:xid1445552:xid1446104](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix_eMS/#uid:index_xi_d1015765:xid1445552:xid1446104)

- [19] Process Simulate: Using Process Simulate Virtual Reality. *SIEMENS* [online]. Mnichov [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix\\_eMS/#uid:index\\_xid1015765:xid1445552:xid1446105](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix_eMS/#uid:index_xid1015765:xid1445552:xid1446105)
- [20] SCHUNK: EGP 40-N-N-B [online]. Brno-Slatina [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/product/28088-0310940-egp-40-n-n-b/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/28088-0310940-egp-40-n-n-b/)
- [21] EPSON EXCEED YOUR VISION: Epson ProSix C4-A901S (C4L) [online]. Lelekovice 103 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.epson.cz/products/robot/epson-prosix-c4-a901s-c4l#specifications>
- [22] *Monitoring Robot Joint Values during Simulation* [online]. Berlín: Siemens [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS\\_TC#uid:xid705104](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS_TC#uid:xid705104)
- [23] *Joint Status* [online]. Berlín: Siemens [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS\\_TC#uid:RoboticsMenu\\_RobotViewer\\_JointStatus](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS_TC#uid:RoboticsMenu_RobotViewer_JointStatus)
- [24] TCPF Speed [online]. Berlín: Siemens [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix\\_eMS/#uid:Robotics\\_RobotViewer\\_TCPFSpeed](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix_eMS/#uid:Robotics_RobotViewer_TCPFSpeed)
- [25] Joint Speed and Acceleration. *Siemens* [online]. Berlín: Siemens [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS\\_TC#uid:index\\_xid1015772:id12415110051341:xid1163710:Robotics\\_RobotViewer\\_JointSpeedAcceleration](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.0/PS_TC#uid:index_xid1015772:id12415110051341:xid1163710:Robotics_RobotViewer_JointSpeedAcceleration)
- [26] Simulation Monitor: Simulation Monitor [online]. Berlín: Siemens [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix\\_eMS/#uid:xid1180347](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/14.1/tecnomatix_eMS/#uid:xid1180347)

## **A Seznam příloh na přiloženém CD**

- Simulace v TPS

Simulace TPS je v zazipované složce Virtual\_Twin\_Bc.zip. Celou složku je potřeba rozbalit do adresáře C:\PLM\Proces\_Simulate\_data\projects\Virtual\_Twin\_Bc.

- Video ze simulace
- Bakalářská práce ve formátu PDF